

TUGAS AKHIR
KL.1702

ANALISA PERENCANAAN BREAKWATER SEBAGAI
BANGUNAN PELINDUNG PANTAI SELABIH, BALI



RSKe
627.24
Dip
a-1
2000

Oleh :

I GEDE ANDI DIPAYADNYA
NRP. 4395.100.026

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000

Rp. 30.000,-

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Pinjam	30/10/2000
Tgl. Pengemb.	4
No. Revisi	21.1207

ANALISA PERENCANAAN BREAKWATER SEBAGAI BANGUNAN PELINDUNG PANTAI SELABIH, BALI

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

20/2 2000



Ir. HASAN IKHWANI, MSc.
NIP. 312 048 145



Ir. KRIYO SAMBODHO
NIP. 132 231 071

SURABAYA

Februari, 2000

ABSTRAKSI

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan panjang garis pantai yang terbesar di dunia. Kenyataan seperti ini disamping memberikan potensi alam yang sangat besar juga menuntut adanya kegiatan konservasi atau perlindungan terhadap pantai itu sendiri agar dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya untuk kepentingan manusia.

Karena hempasan energi gelombang yang sangat besar, tidak jarang kita temui adanya kerusakan kawasan pantai. Salah satunya adalah kerusakan yang menimpa kawasan Pantai Selabih. Kawasan pantai di daerah ini mengalami erosi yang berupa mundurnya garis pantai dan mengancam beberapa prasarana yang ada di daerah itu.

Dengan mempertimbangkan berbagai hal, baik itu masalah ekonomi, teknis dan pertimbangan keindahan (estetika) maka untuk mencegah semakin mundurnya garis Pantai Selabih, pihak pemerintah, yang dalam hal ini PU Bali, merencanakan untuk membangun suatu konstruksi breakwater dengan jenis rubble-mound dan untuk kepentingan keindahan (pariwisata) maka tipe yang dipilih adalah overtopping. Jenis bangunan pelindung pantai ini (breakwater) berfungsi efektif untuk kondisi gelombang yang datang tegak lurus terhadap garis pantai dan dapat menahan perpindahan sedimen dari darat ke laut.

Dengan dihangunnya konstruksi breakwater di lokasi yang bersangkutan, diharapkan perilaku arus sejajar pantai akibat induksi gelombang dapat dikendalikan sehingga pada akhirnya masalah kerusakan pantai dapat diminimalkan dan laju angkutan sedimen dapat berkurang serta tidak menyebabkan kawasan pantai terkena erosi atau abrasi.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat *Ida Sanghyang Widhi Wasa* Tuhan Yang Maha Esa karena atas *asung kertha wara nugraha*-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul *Analisa Perencanaan Breakwater Sebagai Bangunan Pelindung Pantai Selabih, Bali*. Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk menyelesaikan studi program sarjana pada Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, Penulis banyak mendapat bantuan moril maupun materiil serta bimbingan dan pengarahan. Untuk ini semua, Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dorongan dan bantuan baik materiil maupun moril serta berbagai nasehat yang sangat berguna bagi penulis dan juga atas semua pengorbanan yang tak mungkin penulis balas sampai kapan pun.
2. Bapak Ir. Eko Budi Djatmiko, Msc. PhD dan Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono, Msc selaku Kajar dan Sekjur pada Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
3. Bapak Ir. Hartanta Tarigan, PhD selaku dosen wali penulis yang telah memberikan dorongan dan nasehat dalam mengikuti perkuliahan.
4. Bapak Ir. Hasan Ikhwan, Msc dan Ir. Kriyo Sambodho selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan masukan-masukan penting dalam penyelesaian dan penulisan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh keluarga di Simomulyo Baru 06F yang telah memberikan dorongan semangat dan bantuan yang tak terkira sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di ITS, Surabaya.
6. Semua teman-teman di OE'95 terima kasih atas persahabatan dan keceriaan selama ini. *Good luck for all of you.*

7. Kelvin (OE'94), Tombhong (OE'95) terima kasih atas semua bantuannya dan persahabatan yang tulus selama ini.
8. Wayan Yuli (ME'95), Puja (Kapal'95) terima kasih atas pinjaman komputer dan internetnya serta gambar TRnya.
9. Pak Nyoman Murtika dan seluruh keluarga di Denpasar, terima kasih untuk bantuannya dalam mencari data ke Kantor PU Bali.
10. Kadek Heri Sanjaya atas bantuannya dalam mengerjakan tugas dan semoga selalu sukses.
11. Semua fihak yang telah membantu penulis yang tak mungkin disebutkan satu persatu. Terima kasih untuk semuanya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh karena itu, berbagai saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Sebagai akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bisa berguna bagi semua fihak.

Surabaya, Februari 2000

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Abstraksi	
Kata Pengantar	
Daftar Isi	i
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Notasi	vii
BAB I	PENDAHULUAN
1.1.	Latar Belakang 1-1
1.2.	Perumusan Masalah 1-3
1.3.	Batasan Masalah 1-4
1.4.	Tujuan 1-5
1.5.	Manfaat 1-5
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI
II.1.	Tinjauan Pustaka II-1
II.2.	Landasan Teori II-4
II.2.1.	Tinjauan Struktur Bangunan Pelindung Pantai II-4
II.2.1.1.	Breakwater II-5
II.2.1.2.	Jetties II-5
II.2.1.3.	Groin II-6
II.2.1.4.	Seawall II-6
II.2.1.5.	Bulkheads II-7
II.2.1.6.	Revetment II-8
II.2.2.	Breakwater Sebagai Bangunan Pengaman Pantai II-8
II.2.2.1.	Klasifikasi Berdasarkan Penampang Melintang
II.2.2.2.	Klasifikasi Berdasarkan Material Penyusun II-10
II.2.3.	Teori Perencanaan Detached Rouble-Mound Breakwater II-18
II.2.3.1.	Pengertian Detached Breakwater II-18
II.2.3.2.	Sistem Operasional Detached Breakwater II-19
II.2.3.3.	Perencanaan Tata Letak II-20

	II.2.3.4.	Elevasi Puncak Breakwater	II-23
	II.2.3.5.	Berat Satuan Batu Pelindung	II-23
	II.2.3.6.	Lebar Bidang Datar	II-25
	II.2.3.7.	Ketebalan Lapisan	II-26
	II.2.3.8.	Pondasi Dasar Dan Toe Protection	II-27
	II.2.3.9.	Energi Yang Diserap Breakwater	II-28
	II.2.3.10.	Analisa Stabilitas Breakwater	II-30
	II.2.3.11.	Analisa Konsolidasi Dan Settlement	II-33
	II.2.3.12.	Vertikal Drain	II-35
	II.2.3.13.	Metode Pencampuran Beton	II-36
	II.2.3.13.1.	Metode DoE	II-37
	II.2.3.13.2.	Metode ACI	II-40
BAB	III	METODOLOGI	
	III.1.	Diagram Alir	III-1
	III.2.	Penjelasan	III-2
	III.2.1.	Studi Literatur	III-2
	III.2.2.	Pengumpulan Data Dan Analisa Lingkungan	III-2
	III.2.3.	Perencanaan Breakwater	III-3
	III.2.4.	Analisa Stabilitas Breakwater	III-3
	III.2.5.	Analisa Settlement	III-3
	III.2.6.	Penentuan Komposisi Campuran Beton	III-4
	III.2.7.	Kesimpulan	III-4
	III.3.	Metodologi Penulisan Dan Sistematika Laporan	III-5
BAB	IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	IV.1.	Analisa Data	IV-1
	IV.1.1.	Metodologi Pengumpulan Data	IV-1
	IV.1.2.	Kondisi Lingkungan Pantai Selabih	IV-1
	IV.1.2.1.	Analisa Data Angin	IV-2
	IV.1.2.2.	Analisa Data Gelombang	IV-5
	IV.1.2.3.	Analisa Data Arus	IV-12
	IV.1.2.4.	Analisa Data Pasang Surut	IV-12
	IV.1.2.5.	Analisa Data Bathymetri Dan Topografi	IV-14

IV.1.2.6.	Kondisi Tanah Di Bawah Konstruksi	IV-14
IV.1.3.	Permasalahan Dan Alternatif Pengamanan Pantai	IV-16
IV.2.	Analisa Perencanaan Breakwater	IV-17
IV.2.1.	Aspek Umum Perencanaan Breakwater	IV-17
IV.2.2.	Perencanaan Tata Letak	IV-18
IV.2.3.	Analisa Gelombang	IV-22
IV.2.4.	Perhitungan Elevasi Breakwater	IV-30
IV.2.5.	Perhitungan Berat Batu Pelindung	IV-31
IV.2.6.	Perhitungan Lebar Bidang Datar	IV-34
IV.2.7.	Perhitungan Ketebalan Lapisan Dan Jumlah Butir	IV-38
IV.2.8.	Perhitungan Energi Yang Diserap Breakwater	IV-39
IV.2.9.	Analisa Pemilihan Material Penyusun	IV-42
IV.2.10.	Perencanaan Toe Protection	IV-44
IV.3.	Analisa Stabilitas Dan Settlement	IV-48
IV.4.	Perencanaan Campuran Adukan Beton	IV-54
BAB V	PENUTUP	
V.1.	Kesimpulan	IV-1
V.2.	Saran	IV-3
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar	1.1	Peta Lokasi Pulau Bali	I-7
Gambar	1.2	Peta Geologi Bali Selatan	I-8
Gambar	2.1	Berbagai Macam Armour Unit	II-14
Gambar	2.2	Penampang Melintang Breakwater	II-15
Gambar	2.3	Skema Pembentukan Lekuk Tanjung	II-20
Gambar	2.4	Panjang Breakwater dan Jarak Ke Pantai	II-21
Gambar	2.5	Contoh Konstruksi Pelindung Kaki	II-28
Gambar	2.6	Defenisi Gelombang Pantul	II-29
Gambar	2.7	PCAB Dengan Metode DoE	II-39
Gambar	2.8	PCAB Dengan Metode ACI	II-41
Gambar	3.1	Diagram Alir Penelitian Dan Penulisan	III-2
Gambar	4.1	Pembentukan Gelombang Angin	IV-2
Gambar	4.2	Grafik Peramalan Gelombang	IV-8
Gambar	4.3	Sket Definisi Gelombang	IV-10
Gambar	4.4	Tinggi gelombang Vs Wave Steepness	IV-26
Gambar	4.5	Perhitungan α dan β	IV-27
Gambar	4.6	Jenis Gelombang Pecah	IV-28
Gambar	4.7	Kemungkinan Perubahan Garis Pantai	IV-29
Gambar	4.8	Koefesien Refleksi Gelombang	IV-40
Gambar	4.9	Faktor Koreksi akibat Gelombang Pecah	IV-41
Gambar	4.10	Dolos	IV-43
Gambar	4.11	Penampang Breakwater Untuk Overtopping	IV-44
Gambar	4.12	Pelindung Kaki Bangunan	IV-45
Gambar	4.13	Penampang Breakwater Alternatif A	IV-46
Gambar	4.14	Penampang Breakwater Alternatif B	IV-47
Gambar	4.15	Pembagian Lapisan Tanah	IV-50

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Keuntungan Dan Kerugian Ketiga Tipe Pemecah Gelombang	II-10
Tabel II.2.	Perbandingan Konstruksi Rubble Mound Dengan Tipe Lain	II-15
Tabel II.3.	Kondisi Terbentuk Tombolo	II-22
Tabel II.4.	Indeks Respon Pantai Oleh Ahrens & Cox	II-22
Tabel IV.1.	Data Angin Untuk Stasiun Pengamatan Ngurah Rai	IV-3
Tabel IV.2.	Klasifikasi Gelombang Gravitasi	IV-11
Tabel IV.3.	Komponen Pasang Surut Utama	IV-13
Tabel IV.4.	Pemilihan Indeks Respon Pantai	IV-19
Tabel IV.5.	Panjang Total Setiap Alternatif	IV-21
Tabel IV.6.	$H/H_d=0$ Sebagai Fungsi Cover Layer	IV-35
Tabel IV.7.	Layer Coefecient And Porosity	IV-36
Tabel IV.8.	Penentuan Nilai K_d	IV-37
Tabel IV.9.	Faktor Koreksi Lapisan Armour	IV-42
Tabel IV.10	Nilai C_c Untuk Berbagai Tipe Tanah	IV-51

DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

L_s	=	Panjang Breakwater
L	=	Panjang Gelombang
X	=	Jarak rata-rata ke garis pantai
g	=	Percepatan gravitasi
T	=	Periode gelombang
W	=	Berat satuan batu pelindung
W_r	=	Berat jenis beton
K_d	=	Koefesien stabilitas
S_r	=	Perbandingan antara berat jenis beton dengan berat jenis air
θ	=	Slope atau kemiringan struktur
H_d	=	Ketinggian gelombang yang menyebabkan kerusakan
d_s	=	Kedalaman air di muka konstruksi
B	=	Lebar bidang datar
n	=	Jumlah lapis batu pada pelindung utama
K_Δ	=	Koefesien lapisan
L_p	=	Panjang gelombang di lokasi
t	=	Tebal lapis pelindung
P	=	Porositas rerata lapisan pelindung
N	=	Jumlah butir batu untuk setiap luasan
ξ	=	Surf similarity parameter
χ	=	Koefesien pantul
M_d	=	Driving moment
M_r	=	Resisting momen
F_c	=	Gaya kohesi
F_i	=	Gaya geser
F_S	=	Faktor keselamatan
C	=	Kohesi tanah
γ	=	Massa jenis tanah

S	=	Besarnya <i>settlement</i> yang terjadi
e	=	Initial void ratio
C_c	=	Compression index
P_0	=	Tegangan efektif awal
Δp	=	Tegangan tambahan akibat adanya struktur
t	=	Waktu penurunan
T_v	=	Faktor waktu (vertikal)
C_v	=	Koefesien konsolidasi
$f_{c'}$	=	Kekuatan tekan beton rencana

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Citra dan *image* Bali sebagai salah satu daerah tujuan wisata utama di Indonesia sudah tidak perlu diragukan lagi. Hal ini disebabkan karena Pulau Bali (lihat gambar 1.1) merupakan daerah yang kaya akan obyek-obyek pariwisata dengan jenisnya yang cukup lengkap, baik itu wisata bahari, wisata pegunungan maupun wisata budaya dan adat istiadat. Oleh karena itu, industri pariwisata di Bali merupakan sesuatu yang sangat esensial dan merupakan aset yang sangat penting dalam pembangunan ekonomi di daerah ini.

Pulau Bali terletak di sebelah timur Pulau Jawa dengan dipisahkan oleh sebuah selat, yaitu Selat Bali. Secara astronomis, Pulau Bali terletak antara lintang 8° sampai 9° lintang selatan dan bujur $114^{\circ} 30''$ dan $115^{\circ} 30''$ bujur timur. Secara geografis, Pulau Bali berbentuk satu pulau tersendiri dengan karunia keindahan alam yang tak ternilai harganya. Salah satu bentuk keindahan alam di Pulau Bali adalah pantai yang indah. Salah satu pantai yang menjadi daerah tujuan wisata adalah Pantai Selabih. Kawasan pantai ini terletak tidak begitu jauh dari kawasan pantai yang sudah sangat terkenal di dunia, yaitu Pantai Kuta. Di kawasan pantai ini, kehidupan pariwisata memang belum seramai di Pantai Kuta namun demikian tetap menyimpan potensi yang cukup besar di masa mendatang. Hal ini bisa dilihat dari semakin banyaknya *cottages* dan hotel yang didirikan disini.

Di kawasan pantai ini juga terdapat sebuah Pura Segara Adat Selabih, yaitu pura yang dipakai oleh Umat Hindu pada saat melakukan upacara persembahyangan *mekiis* atau *melis*, sehingga pemasangan konstruksi breakwater di pantai ini selain bertujuan untuk menyelamatkan aset wisata bahari, yaitu berupa pantai yang indah juga dimaksudkan untuk melindungi sebuah tempat persembahyangan (pura) dan berbagai prasarana penunjang yang ada di daerah tersebut.

Lokasi yang ditinjau untuk penelitian dan penulisan tugas akhir ini, yaitu Pantai Selabih memiliki panjang kira-kira 9-10 km, membentang dari arah utara (Banjar Kangin, Desa adat Selabih) sampai perbatasan selatan Desa Selabih. Pada lokasi studi

yang ditinjau untuk penulisan Tugas Akhir ini, yaitu pantai Selabih mempunyai permasalahan berupa abrasi atau erosi laut yang ditandai dengan terus bergesernya garis pantai ke arah daratan sehingga bisa mengakibatkan rusaknya berbagai prasarana yang ada di daerah ini. Permasalahan pada kawasan pantai ini diakibatkan oleh besarnya energi gelombang yang menghantam pantai. Hal ini dapat dimungkinkan karena kawasan pantai di Bali Selatan berhubungan secara langsung dengan lautan bebas, kenyataan ini menjadi jelas apabila kita melihat ketinggian gelombang di beberapa pantai di kawasan Bali Selatan, salah satunya yang sangat jelas adalah Pantai Tanah Lot.

Permasalahan lain di kawasan Pantai Selabih adalah adanya *transport sediment* sepanjang garis pantai oleh air laut, baik itu karena arus yang ditimbulkan oleh gelombang, maupun yang ditimbulkan oleh arus yang lainnya seperti arus karena angin dan pasang surut.

Pada pantai yang stabil, akan terdapat kesetimbangan sedimen yang terbawa arus dan sedimen yang diendapkan pada lokasi tersebut. Keseimbangan ini dapat terjadi pada satu periode siklus iklim gelombang, yaitu selama satu musim pantai itu akan mengalami erosi dan pada musim selanjutnya akan mengalami akresi pantai atau dapat juga terjadi kemungkinan yang lain, yaitu transportasi sedimen pada pantai tersebut adalah setimbang, apabila hal ini terjadi maka jumlah sedimen yang terendapkan akan selalu sama dengan yang tergerus. Fenomena yang dapat diamati pada kawasan Pantai Selabih adalah proses kesetimbangan *transport sediment* mulai terganggu sehingga hal ini mulai mengakibatkan erosi dan mundurnya garis pantai, karena jumlah material yang mengalami erosi jauh lebih banyak dibandingkan dengan jumlah material yang mengalami deposisi.

Akibat dari permasalahan yang terjadi di atas adalah rusaknya kawasan Pantai Selabih sekaligus merusakkan lingkungan yang ada di sekitarnya. Hal ini juga berarti mengganggu keberadaan berbagai bangunan penunjang pariwisata seperti : *cottages*, hotel dan berbagai toko cinderamata/*souvenir* serta bangunan yang lainnya. Dengan mempertimbangkan berbagai hal diatas, maka rencana perlindungan umum (*general protection plan*) terhadap Pantai Selabih sudah harus dilaksanakan. Untuk mengatasi permasalahan di atas, perlulah kiranya dilakukan studi atau kajian yang komprehensif dan menyeluruh serta perencanaan bangunan pelindung pantai yang sesuai untuk

daerah Pantai Selabih serta mampu untuk memberikan efek peredaman gelombang yang cukup besar.

Ada beberapa alternatif metode perlindungan pantai yang mungkin dilakukan untuk mengatasi permasalahan seperti di atas. Salah satu bentuk perlindungan pantai yang memungkinkan berupa suatu konstruksi bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). Alternatif bangunan pemecah gelombang yang dapat dipergunakan dalam kasus ini adalah berupa bangunan pemecah gelombang lepas pantai atau *detached breakwater* dengan struktur konstruksi *Rubble-Mound* (Ihrlich and Kulhawy, 1982) dan jenis *overtopping*. Kriteria desain dan pertimbangan teknis dipilihnya tipe/jenis ini akan dijelaskan secara mendetail pada Bagian Pembahasan/Perencanaan Konstruksi. Dengan adanya bangunan pemecah gelombang ini diharapkan perilaku arus sejajar pantai yang menyebabkan transportasi sedimen akibat induksi gelombang dapat dikendalikan dan besarnya energi gelombang yang menghantam pantai dapat dikurangi.

Tahap pertama kegiatan perencanaan Breakwater adalah melakukan analisa kondisi lingkungan (data gelombang, arus, tanah, topografi dan morfologi pantai, angin dan lain-lain) pada lokasi yang dipilih sebagai obyek penulisan Tugas Akhir. Kemudian dilanjutkan dengan mengadakan studi terhadap kasus yang terjadi di lokasi. Setelah didapatkan dimensi dan lay-out breakwater yang optimal kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisa stabilitas untuk mengetahui kemampun breakwater apakah dapat berfungsi efektif pada saat gaya-gaya bekerja secara bersamaan, yang sesuai dengan karakteristik lingkungan setempat. Dari analisa yang telah dilakukan diharapkan akan diperoleh suatu spesifikasi desain breakwater yang mampu mengatasi permasalahan abrasi dan erosi pada Pantai Selabih dan memberikan efek peredaman gelombang yang paling besar.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dalam pembuatan dan penulisan Tugas Akhir ini ada beberapa permasalahan yang akan dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah desain Breakwater yang memenuhi standard konstruksi untuk dipasang pada lokasi yang telah ditentukan ?

2. Bagaimanakah stabilitas dan efektifitas konstruksi breakwater untuk memberikan efek peredaman energi gelombang paling besar, pada saat gaya-gaya bekerja secara bersamaan ?
3. Berapakah besarnya settlement yang terjadi pada breakwater dan cara-cara apakah yang paling tepat untuk mengatasinya ?
4. Bagaimanakah menentukan susunan dan komposisi penyusun beton yang tepat dari segi teknis sebagai material penyusun breakwater untuk selanjutnya mendapatkan beton dengan kekuatan karakteristik yang direncanakan dan penggunaan material seefektif mungkin.

1.3. BATASAN MASALAH

Pembatasan masalah dilakukan agar pembahasan tidak melebar ke persoalan-persoalan yang lain dan diusahakan terfokus pada satu hal yang menjadi inti permasalahan. Tujuan lain pembatasan masalah adalah agar semakin mempermudah dan mempercepat penyelesaian Tugas Akhir ini dengan tanpa mengurangi bobot penelitiannya. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, perancangan atau desain breakwater dibatasi oleh beberapa hal, yaitu :

1. Karena banyaknya alternatif bangunan pelindung pantai, maka dalam penulisan Tugas Akhir ini hanya akan dibahas mengenai struktur *Rubble-Mound Breakwater* dengan jenis *Detached Breakwater*.
2. Perencanaan konstruksi hanya meliputi perencanaan dimensi standar berupa ketinggian atau elevasi breakwater, panjang breakwater, jarak relatif dari garis pantai, lebar mercu serta kemiringan atau slope dari konstruksi breakwater yang dibangun. Selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap stabilitas breakwater dan besarnya kemungkinan terjadi settlement, dan kemudian dilakukan analisa perencanaan campuran beton untuk mendapatkan beton dengan kekuatan karakteristik yang diinginkan.
3. Dari keseluruhan lokasi Pantai Selabih, perencanaan konstruksi breakwater hanya akan dilakukan untuk kawasan yang mengalami kerusakan pantai paling parah. Kawasan Pantai Selabih yang hendak dilindungi memiliki panjang kira-kira 1,8 km dan terletak antara Pasar Seni Selabih sampai di depan Warung Made. Dari hasil

studi awal, zona inilah yang paling sesuai untuk dibangun konstruksi breakwater dengan mengingat tingkat kerusakan garis pantai yang telah terjadi.

4. Semua bentuk perhitungan dan analisa dalam pembuatan Tugas Akhir ini hanya akan didasarkan pada rumus-rumus baku, jadi disini semua bentuk perhitungan tidak memakai penurunan rumus.
5. Perhitungan dan perencanaan biaya (analisa ekonomi) tidak diperhitungkan.

1.4. TUJUAN

Dari keseluruhan pengerjaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat dicapai beberapa tujuan. Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan desain breakwater yang memenuhi standard konstruksi dan mampu memberikan efek peredaman gelombang paling besar.
2. Mengetahui efektifitas dan stabilitas desain konstruksi breakwater yang kita rancang.
3. Mengetahui besarnya settlement yang terjadi dan menentukan metode yang tepat untuk mengatasinya, disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat (*sea/soil condition*).
4. Mengetahui susunan campuran atau komposisi material penyusun breakwater (beton) yang tepat sehingga mampu memberikan berat dan kekuatan karakteristik seperti yang diinginkan.

1.5. MANFAAT

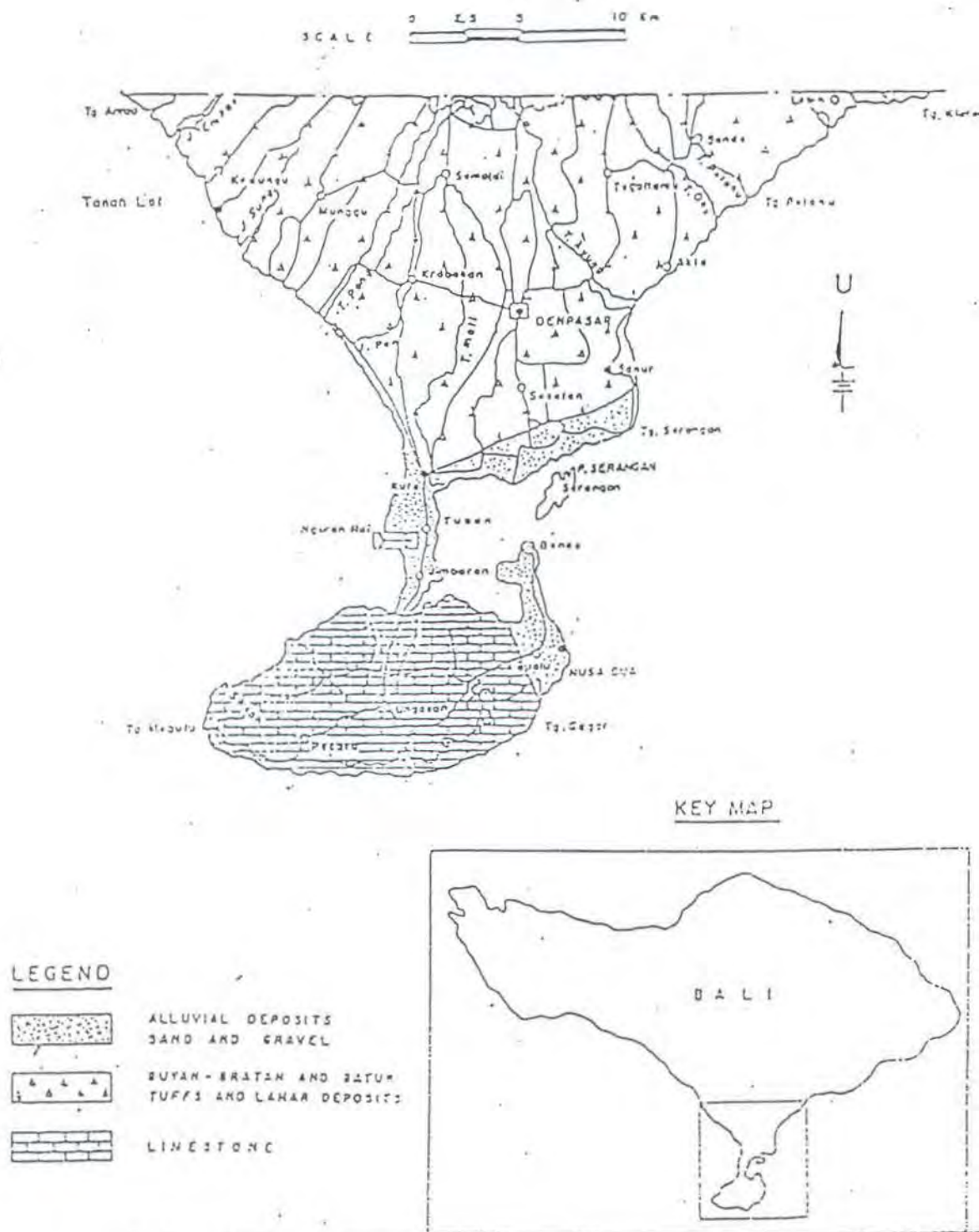
Manfaat yang hendak dicapai dalam rangka perencanaan konstruksi *Detached Breakwater* ini adalah :

1. Memberikan alternatif desain breakwater yang sesuai untuk kondisi Pantai Selabih, dapat berfungsi secara efektif dan efisien.
2. Memberikan acuan untuk pembangunan breakwater sebagai bangunan pelindung Pantai Selabih, Bali.
3. Memberikan perkiraan mengenai stabilitas konstruksi untuk memastikan breakwater akan mampu berfungsi sesuai dengan waktu yang direncanakan.

4. Memberikan saran mengenai metode yang tepat dan sesuai untuk mengatasi permasalahan settlement yang mungkin terjadi di lokasi.



Gambar 1.1. Peta Lokasi Pulau Bali



Gambar 1.2. Peta Geologi Bali Selatan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II.1. TINJAUAN PUSTAKA

Pada dasarnya pantai sudah mempunyai mekanisme perlingkungannya sendiri yang diatur oleh alam, yaitu berupa kemiringan pantai (*beach slope*) dan bukit-bukit pasir yang terdapat di sepanjang pantai (CERC, SPM. Vol.I, 1984). Kemiringan pantai dan *beach berm* merupakan garis pertahanan terluar dalam meredam energi gelombang yang datang, bukit-bukit pasir (*dunes*) merupakan zone terakhir pertahanan dalam meredam energi *storm waves* yang berhasil melewati *berm*. Pada beberapa kasus, sering dijumpai bukit-bukit pasir akan mengalami erosi selama terjadi badai, meskipun demikian materialnya secara substansial cukup kuat untuk memberikan proteksi pada daratan yang berada di belakangnya. Proses ini sangat erat kaitannya dengan *transport sedimen* yang terjadi di lokasi. Stabilitas pantai akan sangat tergantung pada kecepatan debit sedimen yang terendapkan dan yang dipindahkan dari suatu kawasan pantai. Perpindahan sedimen terjadi karena proses yang kompleks sebagai akibat interaksi gelombang, angin, arus, dan pasang surut.

Pada banyak kawasan pantai di Indonesia, perlindungan alamiahnya sudah tidak ada lagi atau sudah tidak efektif karena rusak/punah, maka dapat dibuat perlindungan buatan. Ada lima pendekatan dalam perencanaan perlindungan pantai buatan (Nur Yuwono, 1992), yaitu :

1. Mengubah laju angkutan sedimen sejajar pantai, dengan bangunan groin
2. Mengurangi energi gelombang yang mengenai pantai, dengan bangunan pemecah gelombang lepas pantai
3. Memperkuat tebing pantai sehingga tahan terhadap gempuran gelombang, dengan bangunan *revetment* dan *seawall*
4. Menambah suplai sedimen ke pantai, dengan cara *sand by passing* atau *beach nourishment*
5. Melakukan penghijauan di daerah pantai, dengan pohon bakau atau pohon nipah

Terjadinya kerusakan pada kawasan pantai sebagai akibat erosi atau abrasi disebabkan oleh banyak faktor (Pilarczyk, 1990), diantaranya :

A. Penyebabnya adalah aktivitas manusia atau struktur yang dibuat oleh manusia

- Interupsi pada pola laju littoral, misal perpindahan pasir oleh aksi gelombang dan arus sepanjang pantai
- Pengambilan beberapa jenis sumber daya alam (*Natural Resources*) seperti : pasir, air tanah, dan lain-lain yang dapat menyebabkan kemunduran garis pantai dan perubahan pada *sea level*
- Defleksi pada *shore current patterns*
- Perpindahan sedimen akibat proses pengerukan (*Dredging*).
- Modifikasi *waves regimes* sebagai akibat refleksi dan difraksi di sekitar setruktur.
- Berkurangnya sedimen yang disuplai ke *littoral zone* karena berbagai jenis struktur yang dibangun manusia di sungai seperti dam, yang bisa mengakibatkan *sediment traps*.
- Dan lain-lain

B. Penyebabnya adalah alam

- Angin dan *storm waves*, yang mampu memindahkan material dari kawasan pantai sebagai penyebab utama erosi
- Perubahan level muka air, termasuk tidal, *storm-surges* dan *sea level rise*
- Pergerakan tanah (*ground motion*)
- Dan lain-lain

Salah satu jenis struktur yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah abrasi laut, adalah pembuatan suatu konstruksi breakwater. Jenis breakwater yang akan dipilih adalah *rouble-mound breakwater* dengan tipe *detached breakwater*. *Detached breakwater* atau yang sering dikenal dengan istilah *off-shore breakwater* adalah suatu konstruksi breakwater (bangunan pemecah gelombang) yang dibangun pada suatu jarak tertentu dari garis pantai (terlepas dari pantai), berfungsi untuk mengubah kapasitas transport baik yang sepanjang garis pantai maupun yang tegak lurus (*perpendicular*) terhadap garis pantai, bertindak sebagai tombolo (Pilarczyk, 1990). Jenis breakwater ini secara struktural lebih sederhana dibandingkan dengan tipe breakwater yang dipergunakan dalam perlindungan kawasan pantai (Horikawa, 1978). Kedalaman perairan di tempat konstruksi relatif dangkal dan fungsi konstruksi breakwater ini tidak menahan secara keseluruhan gelombang yang datang, oleh karena itu banyak dijumpai desain breakwater dimana elevasi puncak breakwater ditempatkan di bawah *Mean Sea*

Level. Pada kasus seperti diatas, jenis breakwaternya kadang disebut dengan istilah *submerged breakwater*.

Salah satu keuntungan dengan dipilihnya *rouble-mound breakwater* sebagai bangunan pelindung Pantai Selabih adalah bahwa kerusakan yang terjadi pada *armour cover layer* tidak terjadi secara tiba-tiba, komplit, disebabkan oleh sedikit gelombang besar tetapi gradual, biasanya terjadi pembagian dan menyebar merata sepanjang durasi badai berlangsung (Sorensen, 1978). Apabila terjadi kerusakan maka struktur masih dapat berfungsi dan kerusakan dapat diperbaiki setelah badai selesai, selama periode gelombang yang lebih rendah.

Bentuk batu pelindung yang dipilih dalam pembuatan konstruksi *rouble-mound breakwater* ini adalah bentuk *dolosse/dolos*. Pemilihan batu pelindung berbentuk dolos karena bentuk batu pelindung ini mempunyai stabilitas yang paling bagus apabila dibandingkan dengan bentuk batu pelindung yang lain, seperti : balok, bentuk batu alam, tetrapod, tribar dan lain-lain (Broersen, 1974). Bentuk batu pelindung dolos juga mempunyai sensitifitas yang lebih rendah terhadap *overloading* dibandingkan dengan bentuk batu pelindung yang lain. Kesimpulan diatas diambil setelah mengadakan penelitian yang mendalam dengan cara membandingkan masing-masing bentuk batu pelindung dalam suatu pengujian *wave model studies*. Kegiatan pengujian dilaksanakan di *Hydraulics Laboratory, Danish Engineering Academy, Aalborg, Denmark*.

Perhitungan terhadap jenis *settlement* yang terjadi pada konstruksi breakwater dapat dibagi menjadi dua, yaitu *settlement primer* dan *settlement sekunder* (Hardiyatmo, 1992). Kedua jenis *settlement* di atas memiliki jenis formula yang berbeda dan terjadi pada suatu kondisi yang tertentu. Adapun cara-cara mengatasi kedua jenis *settlement* tersebut akan disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat (*site condition*) dengan mengacu pada literatur dan referensi yang relevan.

Perhitungan dan perencanaan campuran beton yang sesuai akan memberikan kekuatan struktur beton yang diharapkan. Oleh karena beton merupakan suatu komponen yang tidak homogen dan terdiri dari berbagai material penyusun, maka komposisi dari masing-masing material penyusun sangat menentukan mutu beton yang dihasilkan (Nawy, 1990).

II.2. LANDASAN TEORI

II.2.1. TINJAUAN STRUKTUR BANGUNAN PELINDUNG PANTAI

Struktur bangunan pengaman pantai yang akan dibangun di kawasan Pantai Selabih berguna untuk mengendalikan tingkat erosi yang terjadi dan mencegah semakin mundurnya garis pantai ke arah daratan, selain itu juga untuk merawat kondisi pantai. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa erosi terhadap pantai akan mulai terjadi apabila terjadi ketidakseimbangan antara jumlah atau volume material yang tererosi dengan volume atau jumlah material yang terdeposisi, oleh karena itu pembuatan suatu konstruksi pengaman dan pantai merupakan salah satu solusinya.

Pada umumnya langkah-langkah yang direncanakan untuk memberikan perlindungan terhadap pantai dapat dibedakan ke dalam dua golongan besar (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Golongan yang pertama adalah jenis struktur yang dipergunakan untuk menjaga agar gelombang dengan ketinggian gelombang yang cukup signifikan tidak menjangkau kawasan pantai, pelabuhan, dermaga. Jenis struktur pelindung pantai yang masuk ke dalam golongan ini, adalah *breakwater*, *seawall*, *bulkheads*, serta *revetments*. Golongan yang kedua adalah jenis struktur yang dibangun dengan tujuan untuk mengurangi laju *sediment transport* sepanjang garis pantai, baik yang sejajar garis pantai maupun dengan arah tegak lurus garis pantai. Jenis struktur pelindung pantai yang masuk golongan ini, adalah *groyne* dan *jetties*.

Berdasarkan pada segi fisik bangunan dan penempatannya, struktur pelindung pantai dapat digolongkan menjadi tiga kelompok utama (Sorensen, 1978). Kelompok pertama adalah struktur yang dibangun tegak lurus terhadap garis pantai dan pada umumnya secara fisik berhubungan dengan garis pantai (*shore connected*). Jenis struktur yang termasuk golongan ini antara lain groin untuk menjaga stabilitas pantai, jetties pada pelabuhan (*harbour protection*), dan beberapa tipe breakwater. Kelompok yang kedua adalah jenis struktur yang dibangun di lepas pantai (*off-shore*) dan sejajar dengan garis pantai. Jenis struktur yang termasuk ke dalam kelompok ini antara lain breakwater untuk perlindungan pantai (*off-shore breakwaters*). Kelompok yang ketiga adalah jenis struktur yang dibangun pada permukaan garis pantai dan sejajar dengan garis pantai. Contoh struktur yang termasuk ke dalam kelompok ini antara lain *seawall*

dan *revetments*. Penjelasan dan definisi singkat dari masing-masing jenis struktur pelindung pantai akan diberikan pada poin-poin berikut ini.

II.2.1.1. Breakwater

Breakwater adalah salah satu jenis struktur pelindung pantai yang dibangun untuk melindungi kawasan pantai atau kawasan pelabuhan dari hantaman gelombang yang cukup besar, sehingga salah satu fungsi utama dari konstruksi ini adalah untuk mereduksi energi gelombang yang datang ke arah pantai. Dalam beberapa kasus, terutama sering dijumpai pada struktur breakwater yang berfungsi untuk melindungi kawasan pelabuhan, konstruksi ini menjadi bagian dari jetties (Quinn, 1972). Pada umumnya konstruksi breakwater tersusun atas *rouble-mound*, struktur beton, *sheet pilling*, *floating structures*, dan bisa juga tersusun dari konstruksi *jacket*.

Secara garis besar ada dua jenis konstruksi breakwater yang biasa dijumpai, yaitu *Shore-connected Breakwaters* dan *Off-shore Breakwaters* (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). *Shore connected* merupakan jenis struktur yang berhubungan secara langsung dengan pantai atau daratan. Jenis struktur seperti ini banyak digunakan untuk perlindungan kawasan pelabuhan. *Off-shore Breakwaters* merupakan konstruksi breakwater yang sama sekali tidak berhubungan dengan garis pantai, meskipun demikian kedua jenis konstruksi breakwater ini mempunyai beberapa kesamaan secara umum dalam hal kegunaannya.

II.2.1.2. Jetties

Pengertian *jetties* adalah suatu struktur yang dibangun secara memanjang ke perairan dan ke arah batas sungai atau aliran pasang surut (*tidal inlets*). Struktur jenis ini dibangun untuk mencegah terjadinya pendangkalan yang disebabkan oleh pengendapan karena *littoral transport*. Jetties biasanya ditempatkan pada kawasan di sekitar muara sungai untuk melindunginya terhadap aksi gelombang dan arus (Ehrlich & Kulhawy, 1982).

Pada beberapa tempat di Amerika Serikat, struktur jetties yang dibangun pada kawasan pantai terbuka tersusun atas konstruksi *rouble-mound*. Pada kawasan Greats Lakes, beberapa konstruksi *jetties* terbuat dari baja atau *sheet pile*, *caissons* dan *cribs* dengan memakai *timber*, baja atau beton.

II.2.1.3. Groin

Groin adalah struktur pelindung pantai yang dibangun sepanjang garis pantai dengan tujuan untuk membuat suatu kawasan pantai yang stabil. Pada umumnya konstruksi groin dibangun dengan material batu alam, tribar, dolos, dan sebagainya. Struktur groin yang dibangun direncanakan untuk menahan atau menangkap angkutan pasir (*longshore transport*) atau untuk mengurangi angkutan pasirnya (Pratikto, 1996). Secara operasional groin ditentukan oleh beberapa ketentuan (CERC, SPM. Vol. 1, 1984), yaitu :

1. Groin hanya dapat digunakan terhadap kondisi *longshore transport*.
2. Penyesuaian keadaan pantai di sekitar groin akan bergantung pada jarak serta arah *longshore transport*.
3. Hasil akumulasi *longshore transport* oleh groin pada pantai akan mengubah profil pantai.
4. Gelombang yang menimpa groin kadang-kadang akan dipantulkan ke lepas pantai sepanjang sisi groin.
5. Prosentase *longshore transport* yang melalui groin akan sangat bergantung pada dimensi groin, dimensi material pengisi groin, *water level* dan iklim gelombang.
6. Endapan *longshore transport* yang terkumpul akan menumbuhkan pasir penyeimbang naik.

II.2.1.4. Seawall

Seawall merupakan konstruksi pelindung tebing pantai terhadap gelombang yang cukup besar. Jenis kerusakan yang paling banyak dijumpai pada struktur ini adalah erosi pada bagian kakinya (Pratikto, 1996) yang dapat mengganggu stabilitas bangunan secara keseluruhan. Oleh karenanya pada bagian kaki bangunan ini harus dibuatkan suatu pelindung erosi (*toe protection*) yang cukup baik. Struktur jenis ini dibangun secara paralel terhadap garis pantai dan sebagai pembatas antara garis pantai (daratan) dengan daerah perairan.

Pada kegiatan pembuatan konstruksi ini ada beberapa batasan yang perlu diperhatikan untuk desainnya, yaitu :

- Pemakaian dan bentuk struktur
- Lokasi

- Panjang dan tinggi struktur
- Stabilitas tanah
- Water level
- Keberadaan (*availability*) material penyusun
- Kelayakan studi
- Lingkungan

Secara kasar profil seawall dapat dikelompokkan menjadi bentuk vertikal, bentuk miring, bentuk lengkung cembung, bentuk lengkung cekung. Semua jenis seawall ini mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda satu sama lainnya (Pratikto, 1996). Berikut ini akan diberikan beberapa karakter dari masing-masing jenis seawall diatas :

A. Struktur dinding yang vertikal kurang efektif menahan hempasan gelombang terutama overtopping dibandingkan dengan dinding cekung. Pemakaian dinding vertikal dapat mempercepat terjadinya *scouring* di kaki seawall (pada kondisi air dangkal), namun struktur jenis ini cukup murah dan cepat pengerjaannya.

B. Struktur dinding miring yang terdiri dari tumpukan batu sangat efektif untuk menyerap dan menghancurkan energi gelombang, mereduksi *run-up*, *over-topping* dan *scouring*. Dinding cembung dan miring kurang efektif untuk mereduksi *run-up* dan *over-topping*.

C. Struktur dinding cekung merupakan struktur yang paling efektif mereduksi overtopping gelombang jika angin laut tidak begitu keras, jika puncak struktur akan dipergunakan sebagai jalan maka desain ini adalah merupakan bentuk yang terbaik untuk melindungi puncak dan mereduksi hempasan air.

II.2.1.5. Bulkheads

Fungsi struktur ini adalah untuk menahan terjadinya longsor tanah selain untuk melindungi tanah dari kerusakan akibat gelombang (Pratikto, 1996). Struktur ini akan memisahkan secara jelas antara daerah perairan dengan daratan yang ada di belakangnya dan diletakkan secara paralel terhadap garis pantai. Komponen utama dari

struktur ini adalah *structural members* yang terbuat dari beton, baja, kayu olahan, aluminium, asbestos, dan lain-lain.

II.2.1.6. Revetment

Revetment atau biasa disebut dengan istilah "*slope protection*" adalah merupakan bangunan pelindung tebing pantai terhadap gelombang yang relatif kecil seperti pada kolam pelabuhan, bendungan, jalan air (*water-way*) ataupun kawasan pantai dengan gelombang yang kecil (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Secara garis besar *revetment* dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu : *permeable revetment* dan *impermeable revetment*.

II.2.2. BREAKWATER SEBAGAI BANGUNAN PELINDUNG PANTAI

Perlindungan kawasan pantai dengan menggunakan konstruksi breakwater membutuhkan biaya yang cukup besar, hal ini disebabkan karena jumlah material pelindung yang dibutuhkan cukup banyak. Metode konstruksi breakwater terutama yang dibangun di daerah lepas pantai juga cukup rumit dan membutuhkan peralatan yang harus memadai dan canggih. Namun, perlindungan pantai dengan menggunakan struktur breakwater dipilih karena struktur ini sangat sesuai untuk melindungi daerah pantai yang menerima gelombang yang cukup besar selain itu struktur ini juga dapat menjaga garis pantai selalu tetap.

Seperti yang telah dijelaskan di depan, ada banyak jenis breakwater baik ditinjau dari material pembentuknya atau bentuk profil penampangnya. Pada beberapa literatur banyak dijumpai pembagian jenis breakwater berdasarkan pada tata letak atau penempatannya di lokasi (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Berikut ini akan dijelaskan beberapa tipe breakwater yang banyak dijumpai dalam kegiatan perencanaan bangunan pelindung pantai.

II.2.2.1. Klasifikasi Berdasarkan Penampang Melintang

Ditinjau dari bentuk penampang melintangnya, breakwater dapat dibedakan menjadi tiga kelompok (Triatmodjo, 1999). Berikut ini akan dijelaskan secara singkat dari ketiga jenis breakwater di atas.

1. Pemecah gelombang sisi miring

Termasuk dalam kelompok ini adalah pemecah gelombang yang terbuat dari tumpukan batu alam, blok beton, gabungan antara batu pecah dan blok beton, batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti tetrapod, quadripods, tribars, dolos, dan sebagainya. Dibagian atas pemecah gelombang tipe ini biasanya juga dilengkapi dengan dinding beton yang berfungsi untuk menahan limpasan air di atas bangunan. Pemecah gelombang tipe ini banyak dijumpai di Indonesia karena dasar laut pantai di perairan Indonesia kebanyakan tersusun dari tanah lunak. Pemecah gelombang sisi miring mempunyai sifat yang fleksibel. Kerusakan yang terjadi karena serangan gelombang tidak secara tiba-tiba dan tidak fatal, meskipun demikian pembangunan pemecah gelombang tipe ini tidak sesuai di lokasi dengan kedalaman yang cukup besar karena kebutuhan akan material akan sangat banyak.

2. Pemecah gelombang sisi tegak

Termasuk ke dalam kelompok kedua adalah pemecah gelombang yang tersusun dari dinding blok beton massa yang disusun secara vertikal, kaisan beton, sel turap baja yang di dalamnya diisi batu, dinding turap baja atau beton dan sebagainya. Pemecah gelombang sisi tegak dibuat apabila tanah dasar mempunyai daya dukung yang besar dan tahan terhadap erosi. Apabila tanah dasar mempunyai lapis dasar berupa lumpur atau pasir halus, maka lapis tersebut harus dikeruk dahulu sehingga menimbulkan tambahan biaya. Pada tanah dasar dengan daya dukung kecil, dibuat dasar dari tumpukan batu untuk menyebarkan beban pada luasan yang lebih besar.

3. Pemecah gelombang campuran

Pemecah gelombang tipe ini merupakan gabungan antara pemecah gelombang sisi miring dengan pemecah gelombang sisi tegak, yaitu pemecah gelombang tegaknya dibangun diatas pemecah gelombang tumpukan batu atau sisi miring. Bangunan ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedangkan pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak. Secara umum, pemecah gelombang campuran harus mampu menahan serangan gelombang pecah.

Berikut akan diberikan perbandingan antara ketiga jenis konstruksi breakwater di atas dalam bentuk tabel.

Tabel II.1. Keuntungan dan kerugian ketiga tipe pemecah gelombang
(Triatmodjo, 1999)

TIPE	KEUNTUNGAN	KERUGIAN
PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING	1. Elevasi puncak bangunan Rendah	1. Dibutuhkan jumlah meterial yang banyak
	2. Gelombang refleksi kecil atau Meredam energi gelombang	2. Pelaksanaan pekerjaan lama
	3. Kerusakan berangsur-angsur	3. Kemungkinan kerusakan pada Waktu pelaksanaan besar
	4. Perbaikan mudah	4. Lebar dasar besar
	5. Murah	
PEMECAH GELOMBANG SISI TEGAK	1. Pelaksanaan pekerjaan cepat	1. Mahal
	2. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil	2. Elevasi puncak bangunan tinggi
	3. Luas perairan pelabuhan lebih Besar	3. Tekanan gelombang besar
	4. Sisi dalamnya dapat digunak- an sebagai dermaga atau tempat Tambatan	4. Diperlukan tempat pembuatan kaison yang luas
	5. Biaya perawatan kecil	5. Kalau rusak akan sulit Perbaikannya
PEMECAH GELOMBANG TIPE CAMPURAN	1. Pelaksanan pekerjaan cepat	6. Diperlukan peralatan berat
	2. Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil	7. Erosi pada kaki pondasi
	3. Luas perairan pelabuhan lebih Besar	1. Mahal
		2. Diperlukan peralatan berat
		3. Diperlukan tempat pembuatan kaison yang luas

II.2.2.2. Klasifikasi Berdasarkan Material Penyusunnya

Dengan berdasarkan pada material penyusunnya, struktur breakwater dapat dibedakan menjadi bermacam-macam jenis seperti *corrugated steel pile breakwater*, *vertical sheet pile cell*, *pipe pile breakwater*, *rouble-mound breakwater*, *caisson breakwater*, dan lain-lain. Berikut ini akan dibahas beberapa jenis breakwater yang banyak digunakan sebagai struktur pelindung pantai di Indonesia, diantaranya adalah :

1. Struktur Kaison

Perlindungan pantai dengan menggunakan struktur kaisson sangat menguntungkan pada kondisi dimana bangunan tersebut juga akan dimanfaatkan untuk keperluan yang lain, seperti dermaga dan tempat penambatan *floating boat*. Konstruksi breakwater

yang tersusun dari kaisson tidak efektif dalam hal penyerapan energi gelombang namun memberikan nilai refleksi yang cukup besar. Oleh karena tersusun dari struktur beton, jenis konstruksi ini sering disebut dengan istilah *vertical concrete wall breakwater*. Konstruksi kaisson dibuat secara persegment atau perbagian di darat, kemudian bagian-bagian tersebut diangkut ke laut untuk selanjutnya diletakkan pada posisi yang dikehendaki dengan menggunakan peralatan yang khusus. Kaisson yang kosong tadi setelah tepat berada pada posisinya kemudian diisi dan ditutup dengan cap beton.

2. Struktur Turap

Perlindungan dengan memakai struktur turap merupakan perlindungan dengan menggunakan dinding tegak seperti struktur kaisson, namun bila dibandingkan dengan struktur kaisson maka struktur turap relatif lebih ringan dan dapat dibangun pada tempat dengan kondisi tanah yang lunak.

3. Struktur Tumpukan Batu (*Rubble-Mound*)

Konstruksi breakwater dengan bahan penyusun rubble-mound merupakan jenis konstruksi yang paling lazim dan banyak dijumpai. Konstruksi ini pada prinsipnya adalah merupakan timbunan dari batu alam ataupun material buatan dengan inti dari pasir dan batu tengah yang dilapisi dengan batu penutup (*underlayer*), kemudian satu atau dua lapis *armour* yang terutama berperan untuk meredam kekuatan ombak (Ehrlich & Kulhawy, 1982) dan dapat dibangun pada kondisi *overtopping* (air masih diijinkan untuk melewati puncak breakwater) dan juga bisa untuk kondisi *non-overtopping*. Armour ini dapat dipilih dari berbagai macam tipe yang masing-masing mempunyai sifat-sifat khusus tersendiri, untuk lebih jelasnya maka masing-masing jenis armour dapat dilihat pada gambar 2.1.

Susunan material yang dipergunakan terdiri dari beberapa lapisan, dimana setiap lapisan mempunyai perhitungan berat dan kemiringan sendiri-sendiri. Banyaknya lapisan tentunya disesuaikan dengan kedalaman perairan dan tingkat perlindungan yang diinginkan. Susunan batuan ini ditata sedemikian rupa dengan kemiringan (*slope*). Hal yang harus sangat diperhatikan dalam hal pengaturan lapisan batuan dalam konstruksi rubble-mound breakwater adalah mendesain sedemikian rupa sehingga lapisan yang tersusun atas material yang lebih halus tetap stabil, tidak

berubah susunan maupun berpindah tempat, sedangkan untuk lapisan terluar harus didesain mampu untuk menahan hempasan ombak (Ehrlich & Kulhawy, 1982). Penampang melintang rouble-mound breakwater dapat dilihat pada gambar 2.2. Armour unit yang terpasang pada bagian terluar harus memiliki ukuran dan berat yang mampu menahan hempasan gelombang, oleh sebab itu ukuran tiap-tiap armour unit dinyatakan dalam berat rata-rata tiap armour unit W atau berat batuan pelapis. Penimbunan material penyusunnya dilakukan berlapisan, dan biasanya terdiri atas tiga lapisan (lihat gambar 2.2). Adapun ketiga lapisan tersebut, adalah :

1. Lapisan Inti (Core)

Lapisan ini terletak paling dalam pada struktur breakwater dan memiliki fungsi utama untuk mendukung penempatan unit-unit armor agar terletak pada posisi yang sebenarnya, sehingga akan menambah stabilitas dan memberi bentuk pada struktur. Fungsinya yang lain adalah menentukan struktur tersebut apakah harus menutup rapat-pasir (kondisi sand tight), sehingga lapisan inti cukup beralasan untuk dibuat *impermeable*, yaitu struktur tersebut tidak dapat dilewati oleh pasir, tetapi air masih bisa mengalir melalui inti.

2. Lapisan Kedua (*Secondary Armour Layer*)

Lapisan ini terletak diantara lapisan inti dan lapisan pertama dan berfungsi untuk mencegah hanyutnya batuan inti melalui pori-pori batuan dan untuk memberikan nilai permeabilitas pada struktur. Konstruksi breakwater yang dibangun harus dapat stabil baik selama pembangunannya maupun setelah selesai dibuat, dan merupakan hal yang penting bahwa lapisan yang berada di bawah atau disebelah dalam *primary layer* (*secondary layer*) besarnya diukur sedemikian rupa sehingga dapat menahan gelombang yang mungkin terjadi selama tahap pembangunannya. Formula Hudson dapat langsung digunakan untuk mengatasi permasalahan ini dengan cara yang sama seperti yang digunakan pada lapisan utama (*primary layer*). Biasanya lapisan kedua ini dibuat dari batu alam ataupun concrete block dengan berat sekitar 1/10 dari berat *primary armour*. Formula Hudson yang dipergunakan dalam perhitungan, akan dibahas pada sub bab berikutnya.

3. Lapisan Pertama (*Primary Armour Layer*)

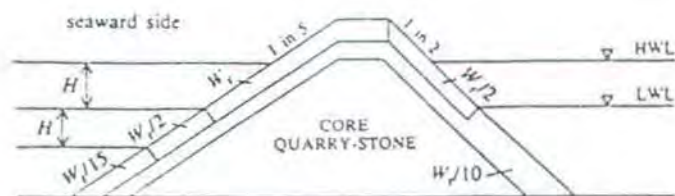
Lapisan ini terletak pada bagian yang paling luar dari suatu struktur breakwater, dan lapisan ini yang menentukan luas daerah yang dilindungi oleh breakwater, agar diperoleh suatu struktur yang stabil maka harus diusahakan agar setiap armour unit yang terpasang satu sama lainnya harus cukup kuat untuk menerima energi gelombang yang datang menghantam struktur. Setiap armour unit yang dipasang satu dengan yang lainnya harus saling mengait (*interlocking*), sehingga struktur tersebut akan lebih terhindar dari keruntuhan (*collapse*). Hal lain yang juga harus diperhatikan adalah berat masing-masing *unit primary layer* yang akan dipasang. Penentuan berat masing-masing unit ini dapat ditentukan dengan menggunakan formula Hudson. Material penyusun lapisan ini dapat menggunakan material alam ataupun material buatan dari beton, seperti misalnya akmon, tetrapod, quadripod, tribars, dolos, dan lain-lain.

4. Lapisan Filter

Lapisan ini merupakan lapisan tambahan yang akan dipasang apabila kondisi tanah dimana struktur breakwater tersebut akan berada mudah mengalami penurunan (*settlement*), misalnya pada kondisi dimana lapisan dasar banyak terdapat pasir. Lapisan ini juga berfungsi untuk mencegah terjadinya *scouring* pada dasar breakwater. Apabila kondisi tanah tempat struktur tersebut dipasang kondisinya cukup bagus dan cukup kuat dalam artian tidak mudah mengalami penurunan (*settlement*), maka lapisan filter ini boleh tidak disertakan dalam perencanaan.



Gambar 2. 1. Berbagai Macam Bentuk Armour Unit (Nur Yuwono, 1992)



Gambar 2. 2. Penampang Melintang Rouble-Mound Breakwater (Novak & Narayanan, 1996)

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa konstruksi breakwater yang tersusun dari *rouble-mound* merupakan jenis yang lazim dan banyak dijumpai dalam berbagai proyek perlindungan dan rekayasa pantai, meskipun demikian dalam pemilihan tipe pelindung pantai harus tetap memperhitungkan kondisi lingkungan dan barbagai batasan (*limitations*) yang dijumpai di lapangan. Berikut ini akan diperbandingkan antara konstruksi *rouble-mound* dengan jenis konstruksi yang lain.

Tabel II.2. Perbandingan Konstruksi Rouble-Mound Dengan Tipe Yang Lain

Jenis	Keuntungan	Kerugian
Vertical Concrete Wall	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat dimanfaatkan sebagai tambatan kapal - Biaya pemeliharaan sedikit 	<ul style="list-style-type: none"> - Waktu pelaksanaan cukup luas - Membutuhkan alat-alat berat - Kerusakan sukar untuk diperbaiki - Area pembuatan kaisson cukup luas

Jenis	Keuntungan	Kerugian
Corrugated Steel Pipe	- Waktu pelaksanaan cukup pendek	- Terjadi korosi
Vertical Sheet pile cells	- Relatif murah - Dapat dibangun di darat dengan alat-alat ringan - Pembangunannya agak cepat	- Dominan terjadi refleksi gelombang - Terjadi korosi - Terjadi local scouring
Pipe Pile	- Waktu penyelesaian cukup singkat - Material yang dipakai tidak begitu banyak	- Terjadi korosi - Biaya cukup besar - Tidak tahan gaya geser
Rubble-Mound	- Bila terjadi penurunan konstruksi, perbaikan mudah dilaksanakan - Gelombang datang akan lebih mudah diredam (efektif) - Masih dapat dibuat pada tanah dengan kondisi kurang baik	- Memerlukan waktu pelaksanaan yang cukup lama - Material yang dipakai cukup besar
Floating	- Biasanya agak murah - Dapat difabrikasi dengan cepat - Tidak tergantung pada kedalaman dan kondisi dasar laut - Mudah dipindahkan dan bisa dipakai lagi.	- Tidak efektif untuk melawan gelombang yang besar (periode > 1 menit) - Daerah yang dilindungi relatif kecil

Jenis	Keuntungan	Kerugian
Pneumatic	<ul style="list-style-type: none">- Tidak memerlukan tempat yang luas- Mengurangi densitas arus- Dapat dibangun dengan cepat- Tidak mengganggu kapal- Tidak berbahaya terhadap gelombang	<ul style="list-style-type: none">- Biaya operasional mahal- Tidak efektif, kecuali untuk gelombang pendek- Pipa udara dapat tertimbun sedimen

II.2.3. TEORI PERENCANAAN DETACHED ROUBLE-MOUND BREAKWATER

II.2.3.1. Pengertian Detached Breakwater

Detached breakwater adalah konstruksi yang termasuk ke dalam golongan *off-shore breakwater*. Breakwater jenis ini merupakan suatu konstruksi breakwater yang diletakkan di lepas pantai dan terpisah dari garis pantai serta sama sekali tidak berhubungan secara fisik dengan pantai (Pilarczyk, 1990). Salah satu alasan digunakannya detached breakwater sebagai bangunan pelindung pantai adalah besarnya energi gelombang datang yang teredam di daerah belakang breakwater, sehingga banyak material pasir yang terdeposisikan di sana sebagai akibat *longshore transport*. Jenis breakwater ini pertama kali dipergunakan di Pantai Niigata (Jepang) untuk melindungi kawasan pantai tersebut dari erosi pada dune sebagai akibat besarnya energi gelombang yang datang (*incoming waves*).

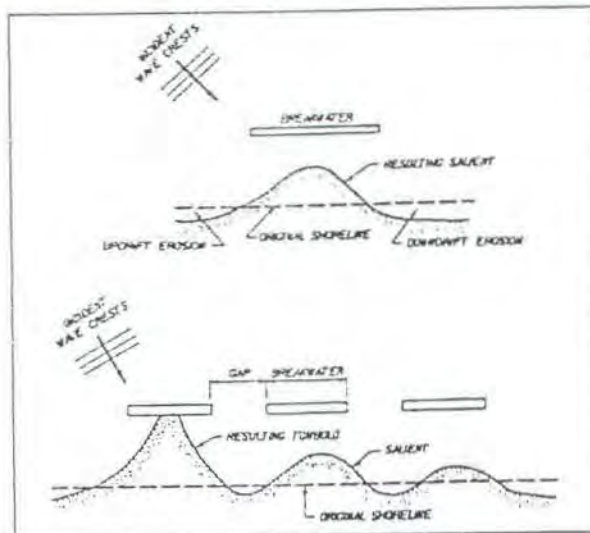
Jenis breakwater ini biasanya dirancang untuk melindungi daerah sepanjang garis pantai dari hempasan gelombang laut. Pada umumnya dibangun secara paralel sejajar terhadap pantai dan berada di lepas pantai pada jarak tertentu (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Konstruksi ini juga dirancang untuk melindungi dermaga atau daerah pantai yang tak dikehendaki terjadi erosi. Pada umumnya konstruksi ini berupa konstruksi *rouble-mound* atau tumpukan batu, baik yang berupa batu alam maupun batu buatan. Pada beberapa kasus tertentu, material penyusunnya dapat juga berupa konstruksi sheet-pile, kayu ataupun suatu konstruksi terapung (*floating breakwater*).

Sebagian besar detached breakwater yang dibangun di berbagai lokasi di dunia berupa konstruksi *rouble-mound*, yaitu konstruksi yang dibangun berupa lapisan batu-batuan yang ditata miring (dengan nilai kemiringan yang tertentu) dan tersusun atas beberapa lapis batuan (Ehrlich & Kulhawy, 1982). Sebagai aturan umum desain breakwater, tiap-tiap lapisan harus didesain agar lapisan yang terdiri atas material yang lebih halus tidak mudah berpindah atau berubah susunannya, sedangkan lapisan terluar (*cover layers*) harus didesain untuk dapat menahan hempasan gelombang yang diterimanya. Penampang melintang suatu konstruksi breakwater dapat dilihat pada gambar 2.2. Sebagian besar desain standar rouble-mound breakwater tampak seperti ini.

II.2.3.2. Sistem Operasional Detached Rubble-Mound Breakwater

Pada dasarnya detached breakwater beroperasi dengan prinsip mereduksi energi yang menyertai terjadinya gelombang di pantai. Struktur tersebut memantulkan gelombang dan memindahkan energi gelombang dalam bentuk difraksi gelombang setelah terjadi tumbukan (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Sebagai akibat reduksi energi gelombang ini akan mengurangi pula perpindahan sedimen ke lepas pantai yang diakibatkan oleh pengaruh gelombang. Dengan demikian sedimen akan dipindahkan dari daerah tersebut hanya pada arah sejajar garis pantai atau akan mengumpul di balik struktur breakwater. Jika panjang struktur cukup besar dibandingkan dengan jarak struktur dari garis pantai, maka pengendapan sedimen di balik struktur akan semakin besar. Sedimen yang mengendap di balik struktur ini akan membentuk tombolo. Jadi breakwater bukan hanya sekedar melindungi pantai dengan mereduksi energi gelombang saja, tetapi juga membentuk mekanisme keseimbangan pantai baru dengan terbentuknya tombolo. Hal tersebut akan dapat bekerja pada saat terjadi badai gelombang pada saat-saat tertentu.

Beberapa jenis *off-shore breakwater* dibangun dengan puncak yang mendekati *Mean Sea Level* (MSL), sehingga hal ini memungkinkan energi yang menyertai terjadinya gelombang dapat diteruskan melalui breakwater, baik secara langsung maupun melalui mekanisme *overtopping breakwater*. Pengendalian endapan pasir akan terjadi di sekitar breakwater, sehingga dimungkinkan adanya mekanisme untuk terbentuknya lekukan-lekukan tanjung (Silvester, 1974). Lekukan-lekukan tanjung baru akan terbentuk secara alami apabila terdapat cukup longshore sediment transport serta breakwater diletakkan mendekati kawasan pantai. Lekukan-lekukan tanjung yang terbentuk pada daerah pantai dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema Pembentukan Lekukan Tanjung (USACE, 1992)

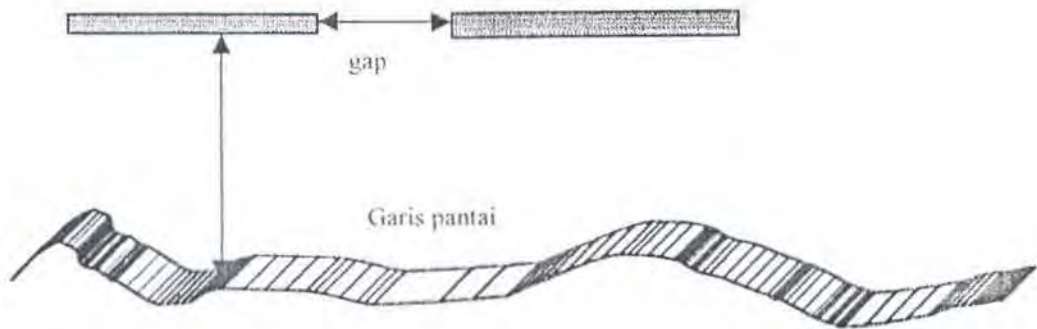
II.2.3.3. Perencanaan Tata Letak

Perencanaan tata letak merupakan kegiatan untuk menentukan dimana struktur tersebut akan bekerja. Pada tahap ini akan ditentukan letak struktur relatif terhadap garis pantai yang akan dilindungi dan komponen-komponen geometris, seperti tinggi, panjang, dan jarak antar breakwater. Ketinggian dan panjang gelombang pada titik yang ditinjau merupakan dua parameter penting dalam menentukan geometris breakwater.

Formasi tombolo biasanya dapat tetap terjaga jika panjang struktur (l_s) kurang dari jaraknya terhadap garis pantai (x). Sketsa penggambaran panjang breakwater dan jaraknya terhadap garis pantai ditunjukkan dalam gambar dibawah ini. Dalam suatu persamaan, pernyataan diatas dapat digambarkan sebagai berikut (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) :

$$l_s < x \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan terbentuknya tombolo, maka hal ini merupakan awal dari mekanisme perlindungan pantai.



Gambar 2.4. Panjang Breakwater dan Jarak Terhadap Garis Pantai

Berbagai teori mengenai desain fungsional dan prediksi indeks respon pantai telah banyak dibahas dalam berbagai bentuk jurnal dan laporan ilmiah, seperti : SPM, 1984 ; Gourlay, 1981 ; Ahrens and Cox, 1990 ; Dally and Pope, 1986 ; dan lain-lain (US Army Corps of Engineers, 1992)). Perencanaan tata letak suatu konstruksi breakwater dapat dinyatakan dalam bentuk perbandingan L/y atau L/gT^2 , dimana :

- L = panjang breakwater
- y = jarak rata-rata terhadap garis pantai
- g = percepatan gravitasi
- T = periode gelombang

Hasil perbandingan dari parameter tak berdimensi diatas kemudian disusun dalam bentuk tabel berikut ini.

Tabel II.3. Kondisi Terbentuk Tombolo (USACE, 1992)

PERBANDINGAN L DAN y	KLASIFIKASI	REFERENSI
$L/y > 2,0$	Double Tombolo	Gourlay (1981)
$L/y > 0,67$ sampai $1,0$ (shallow water)	Tombolo	Gourlay (1981)
$L/y > 2,5$	Periodic Tombolo	Ahrens & Cox (1990)
$L/y > 1,5$ sampai $2,0$	Tombolo	Dally & Pope (1986)
$L/y > 1,5$ (multiple breakwater)	Tombolo	Dally & Pope (1986)
$L/y > 1,0$ (single breakwater)	Tombolo	Suh & Dalrympie (1987)
$L/y > 2b/L$ (multiple breakwater)	Tombolo	Suh & Dalrympie (1987)

Perhitungan indeks respon pantai yang lain juga diberikan oleh Ahrens & Cox pada tahun 1984 (US Army Corps of Engineers, 1992). Indeks respon pantai dinyatakan dalam bentuk perbandingan antara panjang breakwater dengan jaraknya terhadap garis pantai, seperti yang tercantum pada tabel dibawah ini.

Tabel II.4. Indeks Respon Pantai Oleh Ahrens & Cox (US Army Corps of Engineers, 1992)

Ls/x	Indeks respon pantai	Keterangan
0,25	5,0	Tidak terjadi lekukan
0,5	4,5	Tidak terjadi lekukan
0,67	4,2	Timbunan sedimen lembek
0,75	4,1	Timbunan sedimen lembek
1,00	3,7	Timbunan sedimen lembek
1,25	3,3	Timbunan sedimen
1,50	3,0	Timbunan sedimen
1,75	2,7	Timbunan sedimen
2,00	2,5	Tombolo periodik

Keterangan : Ls = panjang breakwater

x = jarak breakwater terhadap garis pantai

II.2.3.3. Elevasi Puncak Breakwater

Elevasi puncak breakwater dari dasar laut direncanakan dengan menggunakan data elevasi muka air laut sebagai acuan untuk menentukan dimensinya. Hal-hal lain yang berhubungan dengan penentuan elevasi puncak breakwater seperti penentuan ketinggian breakwater yang direncanakan (ketinggian muka air maksimum), tinggi gelombang rencana, *wave run-up*, dan *over-topping* juga menggunakan acuan yang sama.

Ketinggian muka air ditentukan dengan berdasarkan pada data pasang-surut yang didapatkan dari dinas PU Bali, dengan pengukuran yang dilakukan oleh pihak ketiga sebagai konsultan yaitu Nippon Koei Co, Ltd (Jepang) yang bekerjasama dengan PT Yodya Karya dan PT Tata Guna Patria. Pengamatan dan pencatatan terhadap data lingkungan ini dilakukan dalam periode waktu yang cukup panjang. Besaran yang dipergunakan dalam analisa selanjutnya adalah nilai rata-rata muka air pasang yang tertinggi.

Pemilihan ketinggian gelombang rencana untuk pembuatan konstruksi breakwater harus mempertimbangkan keadaan dan propertis gelombang pada saat mulai menghantam struktur, selain itu perlu juga dipertimbangkan jenis konstruksi yang hendak dibangun termasuk porositas dan bentuk geometris struktur (CERC, SPM. Vol. 1, 1984). Pemilihan gelombang rencana harus memperhitungkan apakah konstruksi breakwater yang akan dibangun tersebut mengalami hantaman gelombang yang pecah (*breaking*), belum/tidak pecah (*non-breaking*) atau sudah pecah (*broken*).

II.2.3.4 Berat Satuan Batu Pelindung

Stabil atau tidaknya suatu konstruksi yang akan dibangun sangat tergantung pada lapisan utama *rouble-mound breakwater*, baik itu berat satuannya maupun bentuk dari masing-masing batu pelindung. Hal ini dikarenakan konstruksi *rouble-mound breakwater* merupakan suatu struktur gravitasi (*gravity structure*), yaitu struktur yang fungsi operasionalnya didasarkan pada beratnya sendiri. Oleh karena itu, hampir semua perhitungan mengenai stabilitas breakwater tergantung pada berat satuan batu pelapis (*armour unit*) pada kondisi gelombang yang tertentu baik panjang maupun tinggi gelombangnya, selain itu juga tergantung pada berat jenis batuan dan berat jenis air seperti yang terlihat pada persamaan Hudson (CERC, SPM. Vol. 2, 1984) berikut :

$$W = \frac{W_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \theta} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

W = berat satuan batu pelindung

W_r = berat jenis beton (2200 kg/m^3)

K_d = koefisien stabilitas badan atau koefisien stabilitas kepala (tabel 2-2 SPM, Vol. 1, 1984)

S_r = perbandingan berat jenis beton dengan berat jenis air (1000 kg/m^3)

θ = slope atau kemiringan lereng bangunan (kemiringan diambil 1:2 dengan pertimbangan sebagai slope minimal dan pertimbangan kebutuhan material)

H_d = tinggi gelombang yang tidak akan menimbulkan kerusakan (0-5%)

H = tinggi gelombang yang akan menimbulkan kerusakan (tinggi gelombang rencana)

d_s = kedalaman air di muka konstruksi

Untuk kawasan dengan perairan yang dangkal maka H dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$H = \frac{d_s}{1,28} \dots \dots \dots (2.2)$$

Rumus Hudson diatas dikembangkan oleh Hudson (sesuai dengan namanya) di *US Army Corps Engineer Waterway Experiments*, sehingga perencana mempunyai kemudahan yaitu dapat menggunakan rumus diatas tanpa menemui kesulitan dalam menentukan berat batu untuk membuat konstruksi breakwater. Namun demikian, rumus Hudson mempunyai beberapa batasan dalam pemakaiannya (Nur Yuwono, 1992). Diantaranya adalah:

- hanya berlaku pada lereng bangunan dengan nilai $\cot \theta > 1,5$
- rumus ini dikembangkan berdasarkan gelombang tidak pecah (non-breaking wave) dan untuk bagian depan dari pemecah gelombang
- run-up tidak melebihi puncak pemecah gelombang
- tidak memperhitungkan pengaruh periode gelombang
- model test dilakukan dengan gelombang regular

Salah satu metode lain untuk menentukan berat batu pelindung adalah dengan menggunakan persamaan Irribaren (Nur Yuwono, 1992). Persamaan Irribaren dapat dirumuskan sebagai berikut :



$$W = \frac{W_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 (f \cos \theta + \sin \theta)^3} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

W = berat minimum batu pelindung

H = ketinggian gelombang rencana

K_d = koefisien jenis batu pelindung

S_r = rapat massa relatif, yaitu perbandingan berat jenis beton dengan berat jenis air

θ = kemiringan lereng bangunan

f = konstanta

Rumus ini kurang populer karena kurang didukung oleh penelitian yang cukup banyak. Sangat kurangnya informasi mengenai penentuan nilai K_d dan f menyebabkan banyak perencanaan tidak memilih rumus ini.

Penentuan berat unsur tiap armour unit harus pula memperhatikan masalah prosentase kerusakan breakwater yang dapat terjadi dan masih dapat diijinkan. Prosentase ini ditunjukkan dalam faktor H/H_d yang dapat dilihat pada tabel 7-9 hal 7-211, SPM. Vol. 2, 1984. Untuk menentukan lapisan dan berat batu untuk lapis alasnya didasarkan pada berat batuan pada lapisan utama dan desain konstruksi breakwater tersebut apakah over-topping atau non-overtopping (Fig. 7-116, halaman 7-227, SPM. Vol. 2, 1984). Untuk syarat perluasan ke bawah ke arah kaki struktur didasarkan pada kedalaman air relatif terhadap tinggi gelombang. Oleh karena itu, instabilitas dapat terjadi pada perpotongan antara lapisan dan sedimen (bagian bawah konstruksi) dan dapat pula dimulai pada pada ujung lapisan puncak.

II.2.3.5. Lebar Bidang Datar Puncak Breakwater

Konstruksi breakwater dengan tipe rouble-mound merupakan konstruksi yang terdiri atas batu-batuan yang disusun bertumpuk yang memungkinkan batu-batuan ini untuk terlepas dari susunannya akibat adanya over-topping. Untuk mencegah kemungkinan terjadinya hal ini maka lebar bidang datar pada puncak breakwater harus cukup.

Salah satu metode untuk menentukan lebar bidang datar puncak breakwater tipe rouble-mound adalah menggunakan rumus sebagai berikut (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) :

$$B = n.K_{\Delta} \left(\frac{H}{W_r} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

B = lebar bidang datar dalam meter

n = jumlah butir batu pada bidang datar

K_{Δ} = koefisien lapisan, untuk dolos dua lapis secara tersusun adalah 1,00
(CERC, SPM. Vol. 2, 1984)

W = berat satu unit beton pelindung yang dipakai

W_r = berat jenis beton (2200 kg/m³)

Karena lebar puncak rouble-mound tergantung pada besarnya lapisan teratas, maka lebar puncak dari suatu konstruksi breakwater juga dapat dihitung dengan menggunakan formulasi sebagai berikut (Ehrlich & Kulhawy, 1982) :

$$B = 0,3 L_p \text{ sampai dengan } 0,5 L_p \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

B = lebar puncak

L_p = panjang gelombang pada titik yang ditinjau

II.2.3.6. Ketebalan Lapisan

Ketebalan lapisan batuan pelapis struktur digunakan pada perhitungan volume konstruksi. Sedangkan perhitungan ini dipergunakan untuk memperkirakan volume beton yang akan dipergunakan dalam pembangunan struktur *detached breakwater*. Ketebalan lapisan pelindung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$t = n.K_{\Delta} \left(\frac{H}{W} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

t = tebal lapis pelindung

n = jumlah lapisan batu dalam lapis pelindung

K_{Δ} = koefisien ketebalan lapisan batuan

W = berat satuan batu pelapis

W_r = berat jenis batu pelapis

Untuk menentukan jumlah butir batu yang diperlukan pada setiap satuan luasan tertentu dapat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$N = A n K_s \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{W_r}{n}\right)^2 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A

A = luas permukaan, pada umumnya diambil 10 m^2

P = porositas rerata dari lapis pelindung (%)

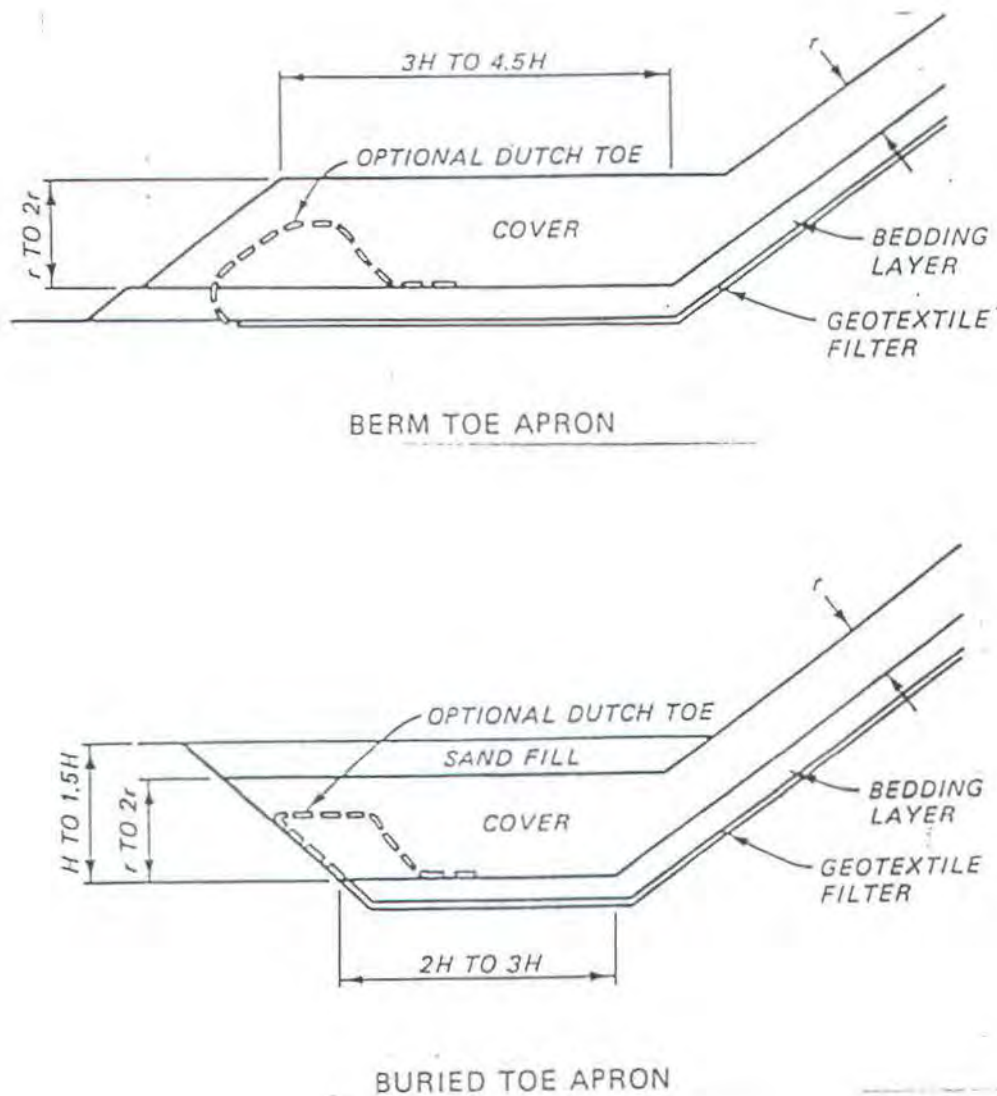
n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

II.2.3.7. Pondasi Dasar Breakwater dan Toe Protection

Perencanaan pondasi dasar suatu konstruksi breakwater sangat penting karena langsung mempengaruhi kestabilan konstruksi yang bersangkutan. Ada dua faktor yang menjadikan persiapan pondasi dasar ini penting (Ehrlich & Kulhawy, 1982), yaitu :

1. Mendistribusikan beban yang diterimanya dan menjaga kemampuan daya dukung tanah.
2. Memberikan pengendalian erosi dengan menjaga *scouring* pada ujung material pondasi.

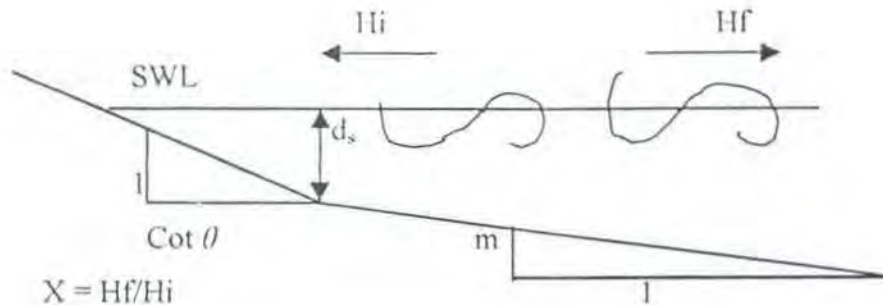
Agar supaya konstruksi pemecah gelombang cukup stabil terhadap bahaya korosi, maka erosi yang terjadi pada ujung kaki pemecah gelombang harus diatasi dengan konstruksi khusus. Pemakaian *geotextile* dalam konstruksi ini sangat dianjurkan, karena pemakaian *filter* sangat sukar dijamin kualitas pelaksanaannya. Contoh perlindungan kaki pemecah gelombang dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4. Contoh Konstruksi Pelindung Kaki Pemecah Gelombang (CERC, SPM. Vol. 2, 1984)

II.2.3.8. Energi Yang Diserap Breakwater

Besarnya energi gelombang yang dipantulkan oleh suatu pantai atau suatu struktur buatan manusia, misalnya breakwater tergantung pada slope (kemiringan lereng breakwater), kekasaran, dan permeabilitas pantai dan breakwater tersebut, dan juga tergantung pada *wave steepness* dan sudut gelombang datang



Gambar 2. 5. Definition of Wave Reflection terms (SPM, Vol. 1, 1984)

Parameter yang menunjukkan besarnya energi gelombang yang direfleksikan dikenal dengan istilah "*surf-similarity*". Parameter ini ditemukan oleh Battjes pada tahun 1974 (CERC,SPM. Vol. 1, 1984), yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\xi = \frac{1.0}{\cot \theta \sqrt{H_i}} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\chi = \frac{H_r}{H_i} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

ξ = surf-similarity parameter

H_i = ketinggian gelombang rencana

H_r = ketinggian gelombang pantul

θ = sudut kemiringan struktur/pantai terhadap garis horizontal muka laut

χ = koefisien pantul

Dengan didasarkan pada beberapa kompilasi perhitungan yang didapatkan dari beberapa sumber, maka Seelings dan Ahrens (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) mengembangkannya menjadi suatu bentuk kurva (dapat dilihat pada Fig.2-66, hal. 2-120, CERC,SPM. Vol. 1, 1984). Kurva ini dapat digunakan untuk mendapatkan ketinggian rencana dari suatu koefisien rencana untuk kondisi *smooth slopes*, *sand beaches*, dan *rouble-mound breakwaters*. Dari kurva ini juga dapat diketahui bahwa koefisien gelombang pantul menurun pada saat nilai *wave steepness* bertambah atau besarnya sudut kemiringan berkurang.

II.2.3.9. Analisa Stabilitas Breakwater

Setelah didapatkan semua dimensi desain breakwater, maka langkah selanjutnya adalah mengadakan suatu analisa terhadap kestabilan struktur untuk mengetahui apakah dimensi yang didapatkan dari hasil perhitungan dapat dipergunakan sebagaimana fungsinya. Perhitungan stabilitas konstruksi breakwater merupakan bagian dari keseluruhan kegiatan perhitungan yang harus dilakukan dalam perencanaan. Hal ini dimaksudkan agar breakwater yang dibangun dapat bertahan terhadap berbagai beban yang akan bekerja. Beban yang diperhitungkan akan bekerja pada struktur adalah semua beban lingkungan seperti beban gelombang, beban arus, beban dari tegangan tanah, dan kemungkinan adanya gempa dan tsunami. Gelombang yang datang menghantam struktur akan membawa beban dan tekanan yang bersifat dinamis terhadap material konstruksi. Oleh sebab itu, bentuk material yang dipergunakan dan tingkat kekasarannya sangat perlu untuk diperhatikan. Beban arus yang bekerja pada struktur akan berpengaruh terhadap adanya *scouring* pada bagian dasar konstruksi. Hal ini akan berpengaruh langsung terhadap kekuatan pondasi struktur.

Struktur rubble-mound breakwater merupakan suatu struktur yang fleksibel, sehingga cukup kuat untuk menahan hempasan beban lingkungan. Masing-masing elemen penyusun pada saat menerima hempasan akan bergerak secara relatif satu sama lain, dari sini akan terbentuk suatu konfigurasi konstruksi yang stabil. Salah satu cara yang dipergunakan untuk menambah kemampuan struktur dalam menahan hempasan beban lingkungan adalah pemilihan material konstruksi breakwater dengan nilai kepadatan yang tinggi. Kepadatan material tersebut harus lebih besar daripada kepadatan air.

Pada dasarnya stabilitas suatu konstruksi akan tercapai bila gaya aksi yang timbul dari berat konstruksi sama dengan gaya reaksi timbul pada tanah di dasar konstruksi atau dapat dikatakan bila faktor keselamatan (FS) $\geq 1,25$ (Kramadibrata, 1985). Stabilitas suatu jenis breakwater dapat ditentukan dengan bantuan tabel dari beberapa literatur yang relevan. Biasanya dalam grafik tersebut diketahui macam batu yang digunakan, selain itu diketahui pula keadaan tanah antara lain daya dukung, sudut gesekan dalam dan kekuatan kohesi tanah. Dengan diketahuinya besaran-besaran tersebut, maka dicari bidang geser terlemah dari titik pusat perputarannya.

Dari data - data tersebut kemudian dicari (Kramadibrata, 1985) :

1.

$$M_d = \sum_i w_i . a_i$$

$$= w_1 . a_1 + w_2 . a_2 + w_3 . a_3 + + w_9 . a_9 (2.9)$$

2.

$$M_r = \sum_i w_i . b_i + \sum_i F_l . R + F_c . R$$

$$= w_1 . b_1 + + w_3 . b_3 + F_l . R + F_c . R + F_{1,4} . R_1 + F_c . R (2.10)$$

Pemecah gelombang ini akan stabil, kalau :

$$\frac{M_r}{M_d} \geq 1,25 (2.11)$$

Notasi :

W = Berat batu pemecah gelombang tiap satuan panjang

a = Lengan, jarak antara W dengan garis vertikal melalui titik pusat perputaran

b = Lengan, jarak antara W dengan garis vertikal melalui titik pusat perputaran

F_l = Gaya geser = $F . N_l$

F_c = Gaya kohesi

N = Gaya normal tegak lurus terhadap busur

M_d = Driving moment, yaitu momen penggeser bangunan

M_r = Resisting momen, yaitu momen penahan

Metode lain untuk menentukan kestabilan suatu konstruksi breakwater adalah menggunakan perbandingan antara gaya penahan/resisting force dan gaya penggerak/sliding force (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990). Bentuk formulasinya adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{G_{pen}}{G_{peng}}$$

$$FS = \frac{\sum(C + L_i) + (\sum W_i - \sum L_i) \tan \phi}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

Fs = faktor keselamatan

L = panjang lengkungan lingkaran

C = kohesi tanah

ϕ = sudut geser dalam

α = sudut antara jari-jari lingkaran dan garis vertikal melalui pusat gaya berat tiap irisan

Menurut "*Simplified Bishop Method of Slope Stability Analysis*", stabilitas suatu struktur berdasarkan pada kesetimbangan statika dengan beban dan kekuatan yang terjadi pada tubuh tanah. Analisa stabilitas breakwater dilakukan dengan tetap memperhitungkan besarnya settlement yang terjadi pada struktur. Dengan adanya settlement maka ukuran dan dimensi struktur yang berada di atas permukaan tanah akan mengalami perubahan, dan untuk itu perlu adanya penambahan terhadap ukuran ketinggian breakwater di atas permukaan tanah. Oleh karena itu, kestabilan suatu konstruksi breakwater sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah yang berada dibawahnya. Mengingat tanah dasar laut di lokasi termasuk jenis tanah lunak, agar dapat digunakan maka perlu adanya suatu tindakan untuk meningkatkan nilai stabilitas tanah. Beberapa upaya yang dapat dilakukan, adalah :

1. Menambah kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif, untuk meningkatkan kohesi dan tahanan geser.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah.
4. Merendahkan muka air.
5. Menggantikan lapisan tanah yang sifat karakteristiknya jelek/buruk.

Berbagai jenis prosedur untuk meningkatkan nilai stabilitas tanah dan mempertinggi tahanan geser untuk lingkungan pekerjaan di laut tentu jauh lebih sulit

dan kompleks apabila dibandingkan dengan lokasi pekerjaan di darat. Untuk stabilisasi tanah di bawah permukaan air laut diperlukan suatu cara atau metode tertentu yang secara ekonomis lebih mahal, misalnya dengan mengganti (*replacement*) tanah-tanah yang buruk sehingga dapat mempertinggi tahanan geser.

II.2.3.10. Analisa Konsolidasi dan Settlement Breakwater

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan isi tanah jenuh secara perlahan-lahan dengan permeabilitas rendah sebagai akibat keluarnya air pori (Soedarmo, 1993). Proses tersebut akan berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang. Pada umumnya konsolidasi ini akan berlangsung dalam satu jurusan saja, yaitu jurusan vertikal karena lapisan yang terkena tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan mendatar (ditahan oleh tanah di sekelilingnya). Dalam keadaan seperti ini pengaliran air juga akan berjalan terutama dalam arah vertikal saja. Pada waktu konsolidasi berlangsung, maka konstruksi diatas lapisan tanah tersebut akan bergerak turun (*settle*).

Setelah semua perhitungan mengenai dimensi breakwater telah didapatkan dan stabil terhadap tanah sandarannya, maka struktur breakwater selanjutnya perlu dianalisa terhadap penurunan (*settlement*). Besarnya penurunan yang akan terjadi tergantung pada besar ukuran dimensi dan jenis material penyusun breakwater serta jenis lapisan tanah yang terdapat di bawahnya. Dengan diketahuinya besar penurunan yang akan terjadi, maka dapat dipersiapkan berbagai tindakan preventif dengan mengadakan tindakan perawatan terhadap tinggi muka air sehingga struktur tetap dapat berfungsi sebagaimana mestinya, ataupun dengan metode peningkatan daya dukung tanah. Ada beberapa penyebab terjadinya penurunan akibat pembebanan yang bekerja diatas tanah (dalam hal ini konstruksi breakwater), yaitu (Hardiyatmo, 1992) :

- Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampuinya daya dukung tanah
- Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi
- Distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya
- Turunnya tanah akibat perubahan angka pori

Besarnya nilai total penurunan yang terjadi pada suatu konstruksi breakwater dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta H = \Delta H_i + \Delta H_e + \Delta H_s \dots \dots \dots (2.13)$$

Penurunan = immediate + konsolidasi + rangkak

Besarnya nilai settlement yang dihitung adalah besarnya *consolidation settlement* (penurunan konsolidasi) dan *immediate settlement* (penurunan segera), karena untuk rangkak membutuhkan waktu yang cukup lama dan biasanya terjadi setelah kedua jenis penurunan yang lainnya berlangsung sehingga perhitungan rangkak dapat diabaikan. Penurunan segera adalah penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau tak jenuh, terjadi dengan segera sesudah penerapan bebannya. Penurunan segera merupakan bentuk penurunan elastis. Dalam prakteknya, sangat sulit untuk memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi. Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alamnya tidak homogen dan an-isotropis dengan modulus elastisitas yang bertambah dengan kedalamannya, tetapi juga terdapat kesukaran dalam mengevaluasi kondisi tegangan dan regangan yang terjadi di lapisannya. Sedangkan penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu, yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Jenis settlement yang bersifat penurunan konsolidasi pada umumnya lebih berbahaya terhadap kestabilan struktur dibandingkan dengan penurunan segera, hal ini disebabkan karena penurunan konsolidasi berlangsung dalam jangka waktu yang lama sedangkan penurunan segera terjadi langsung setelah pembebanan bekerja pada lapisan tanah yang bersangkutan, sehingga semua efeknya dapat dengan segera terdeteksi. Untuk mendapatkan besarnya penurunan yang terjadi maka harus diketahui tegangan tanah semula (P_0) dan tegangan tanah setelah pembebanan terjadi (P). Rumus consolidation settlement diberikan sebagai berikut (Das, 1993) :

$$S = \frac{Cc}{1 + e_0} H \cdot \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

- S = besarnya settlement yang terjadi
- e = *initial void ratio* atau angka pori awal
- Cc = compression index

H = tebal lapisan (m)

P_o = tegangan efektif awal

Δp = tegangan tambahan setelah pembebanan bekerja

Untuk tanah dengan lapisan yang tebal, dimana masing-masing lapisan tersusun atas jenis tanah yang berbeda maka perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap lapisan. Jadi penurunan yang akan terjadi total dari keseluruhan tebal lapisan adalah (Das, 1993) :

$$S = \sum \left[\frac{C_c}{1+e_0} H_i \cdot \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \right] \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

H_i = tebal sub-lapisan ke i

$P_{o(i)}$ = tekanan efektif overburden untuk sub-lapisan ke i

$\Delta p_{(i)}$ = tekanan setelah pembebanan bekerja (penambahan tekanan vertikal) untuk sub lapisan ke i

II.2.3.11. Vertikal Drain

Selain besarnya penurunan yang terjadi pada suatu konstruksi breakwater, lamanya waktu penurunan juga merupakan hal yang penting, karena waktu penurunan harus disesuaikan dengan waktu yang direncanakan agar breakwater telah siap. Perhitungan terhadap lamanya waktu yang diperlukan untuk settlement dan besarnya settlement yang terjadi didasarkan pada Teori Terzaghi mengenai konsolidasi satu matra (*Terzaghi's Theory of One Dimensional Consolidation*). Teori ini didasarkan pada beberapa anggapan sebagai berikut (soedarmo, 1993) :

1. Tanah merupakan tanah homogen dan akan tetap jenuh ($S_r = 100\%$)
2. Air dan butir-butir tanah tidak dapat dimampatkan
3. Terdapat hubungan yang linear antara tekanan yang bekerja dan perubahan isi
4. Koefisien permeabilitas tetap sama selama konsolidasi
5. Hukum Darcy berlaku ($v = k.i$)
6. Konsolidasi merupakan konsolidasi satu matra (vertikal), sehingga tidak terdapat aliran lateral ataupun pergerakan tanah
7. Contoh tanah merupakan contoh asli atau tidak terganggu

Dengan memperkirakan bahwa konsolidasi yang akan tercapai sebesar 90 %, maka besarnya waktu penurunan dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini (Soedarmo, 1993) :

$$T_v = \frac{C_v t}{d^2} \dots \dots \dots (2.16)$$

Untuk aliran dua arah (*two way drainage*) :

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \dots \dots \dots (2.17)$$
$$d = \frac{H}{2}$$

Dimana :

t = waktu penurunan

Tv = faktor waktu (vertikal)

d = tebal lapisan tanah

H_{dr} = tinggi drainage/tebal lapisan tanah lempung /tanah lunak (arah vertikal, sesuai arah pemampatan)

= H/2 (untuk two way drainage, H = tebal lapisan tanah lunak)

Cv = koefisien konsolidasi

II.2.3.12. Metode Pencampuran Beton

Jenis batuan yang digunakan sebagai batuan pelindung untuk pembuatan konstruksi breakwater pada proyek perlindungan Pantai Selabih adalah batu buatan yang terbuat dari beton (dolos). Beton merupakan suatu jenis campuran yang terdiri dari semen, agregat, air, bahan tambahan (*admixtures*). Bahan campuran beton ini sudah diteliti oleh para ahli teknik terdahulu, begutu juga dilakukan pada sifat-sifat dan perbandingan bahan-bahan campuran pembentuk beton. Pada dasarnya perencanaan campuran adukan beton (PCAB) harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Wilby, 1991) :

- A. Memenuhi ketentuan tekan karakteristik atau kekuatan tekan minimum yang dikehendaki
- B. Memenuhi keawetan terhadap pengaruh-pengaruh serangan agresif lingkungan (dalam hal ini lingkungan laut)
- C. Memenuhi kemudahan pengerjaan di lapangan (*workability*)

D. Pertimbangan seekonomis mungkin

Dalam kegiatan perencanaan campuran adukan beton dikenal beberapa jenis atau metode pencampuran yang banyak digunakan dalam dunia keteknikan dan perencanaan konstruksi bangunan, baik di darat maupun bangunan air. Beberapa jenis metode tersebut antara lain (Surbakti, 1995) :

1. *Simplified Mix Design - The DoE Method*
2. *Trial Mixes*
3. *Simplified Mix Design - The ACI Method of Mix Design*

Pada kegiatan perencanaan konstruksi beton di Indonesia, metode *Trial Mixes* kurang begitu populer dibandingkan dengan kedua jenis metode yang lain.

II.2.3.12.1. PCAB Berdasarkan Metode DoE

Perencanaan campuran adukan beton dengan menggunakan metode DoE pertama kali diperkenalkan pada tahun 1988 yang merupakan hasil penelitian gabungan dari *Building Research Station, Transport and Road Research Laboratory* dan *British Cement Association*. Hasil penelitiannya kemudian dipublikasikan oleh *Department of the Environment*, dan metode ini selanjutnya dikenal sebagai Metode DoE (Wilby, 1991). Cara DoE ini merupakan cara yang paling sering digunakan di Indonesia. Beton terdiri dari campuran air, semen, pasir, dan bahan kerikil atau batu pecah. Baik buruknya hasil campuran beton tergantung dari mutu bahan beton dan proporsi dari masing-masing bahan tersebut.

Pada dasarnya seperti diterangkan di depan tuntutan utama dalam kegiatan campuran beton ada empat hal yang mendasar, yaitu :

1. Beton mudah dikerjakan (*workabilitas*), yang dalam praktek dapat dilihat dari nilai slump
2. Kekuatan tekan beton (*compressive strength*) pada umur 28 hari untuk beton yang sudah mengeras
3. Keawetan (*durabilitas*) beton yang mengeras
4. Harga adukan beton harus ekonomis

Dengan kata lain, beton yang baik adalah beton yang dapat memenuhi kekuatan yang diinginkan, penggunaan semen yang seminim mungkin, pengerjaannya mudah yaitu gampang dicampur, tidak terjadi penguraian dan pemadatan membutuhkan tenaga yang

minimum. Untuk mendapatkan beton yang padat, gradasi campuran agregat halus dan agregat kasar harus baik, sehingga ruang pori-pori antara agregat sekecil mungkin, akhirnya akan menghasilkan pasta semen minimum yang berarti jumlah semen juga minimum.

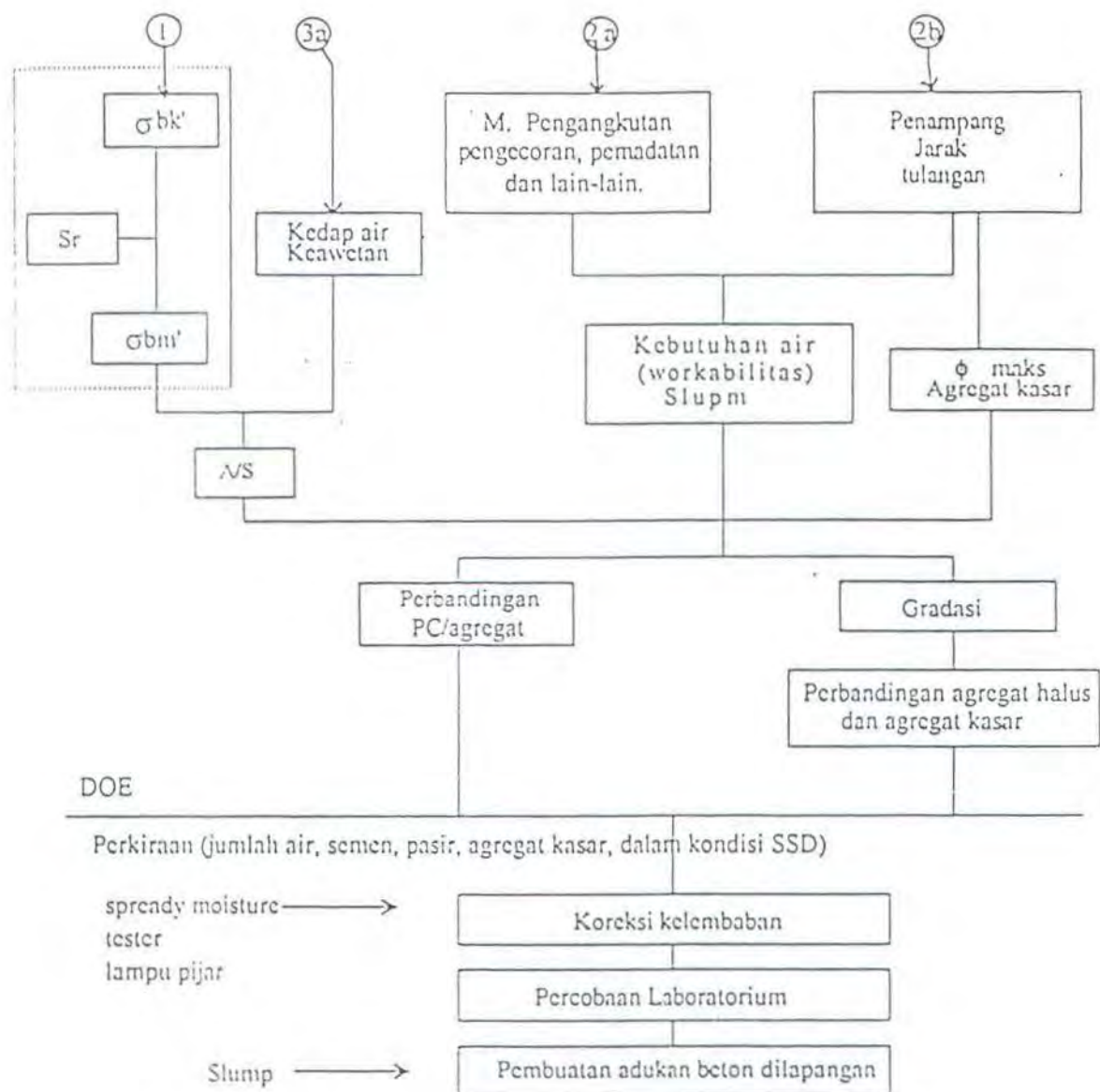
Secara skematis, pola fikiran dalam perencanaan campuran adukan beton yang baik dapat digambarkan pada diagram alir gambar 2.6. Dari *flow chart* ini, dapat diketahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi sifat-sifat beton yang dikehendaki, antara lain : kekuatan, workabilitas, dan keawetan beton.

Dalam perhitungan perencanaan adukan beton digunakan metode yang dikembangkan oleh Department of the Environment dari Kerajaan Inggris yang dikenal dengan Metode DoE. Metode ini telah diterapkan oleh Prof. Torben. C. Hansen dengan sedikit modifikasi. Dalam penggunaan metode DoE ini ada dua anggapan dasar, yaitu :

1. Mudahnya pengerjaan adukan beton tergantung dari jumlah air bebas dan tidak tergantung pada kadar semen dan faktor air semen
2. Kekuatan beton tergantung dari faktor air semen (FAS) dan tidak tergantung dari banyaknya air dan kadar semen

Dari dua anggapan dasar inilah perhitungan rancangan adukan beton dikembangkan. Bila dikembalikan pada 4 tuntutan pokok yaitu kekuatan tekan beton, workabilitas dan durabilitas serta ekonomis, maka dapat dijelaskan sebagai berikut : (lihat *flow chart*, gambar 2.6)

SKEMA PEMBUATAN ADUKAN BETON



Gambar 2. 6. Skema Pembuatan Adukan Beton Dengan Metode DOE (Surbakti, 1995)

II.2.3.12.2. PCAB Dengan Metode ACI

Peraturan beton 1989 berorientasi pada ACI Code, oleh karena itu perhitungan proporsi campuran beton cara ACI banyak digunakan dalam kegiatan perencanaan konstruksi sebagai alternatif perencanaan selain metode DoE yang lazim dipakai selama ini (Nawy, 1990).

Proporsi atau perbandingan campuran beton, lebih dikenal sebagai "*Mix Design*", yaitu suatu proses dimana terdiri dari dua tahap yang saling berkaitan, sebagai berikut :

1. Pemilihan terhadap bahan-bahan yang sesuai untuk pembuatan beton, seperti semen, agregat halus/kasar, air, dan admixtures
2. Penentuan jumlah relatif dari bahan-bahan campuran untuk menghasilkan beton yang seekonomis mungkin, memiliki workabilitas, kekuatan tinggi dan keawetan/tahan lama

Jadi, proporsi ini akan tergantung terutama pada bahan-bahan campuran yang digunakan sesuai pemakaian. Kriteria yang lain, seperti perencanaan untuk mengurangi terjadinya penyusutan dan perubahan bentuk beton atau dengan pemakaian bahan kimia khusus, dapat juga dipertimbangkan. Tetapi walaupun sejumlah pertimbangan kerja telah dilakukan sesuai aspek teori dari *mix design*, ternyata masih sering dilakukan berdasarkan prosedur empiris atau berdasarkan pengalaman dan pengamatan lapangan. Adapun dasar *Mix Design* terdiri dari dua buah parameter (Surbakti, 1995), yaitu :

1. Perbandingan air/semen (Faktor A/S)

Pada tahun 1919, Dulf Abrams menyatakan dalam teori hukum perbandingan air/semen untuk kekuatan beton tergantung hanya pada perbandingan air/semen. Hal ini dapat digambarkan dalam bentuk berikut :

$$f_c = \frac{A}{B^{1,5} \left(\frac{w}{c} \right)^{1,75}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

f_c = kekuatan tekan pada beberapa umur

A = konstanta empiris

B = konstanta yang tergantung sifat semen

Untuk satuan SI perlu adanya penyesuaian.



Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa kekuatan beton berbanding terbalik dengan perbandingan air/semen (FAS).

2. Gradasi Agregat Ideal

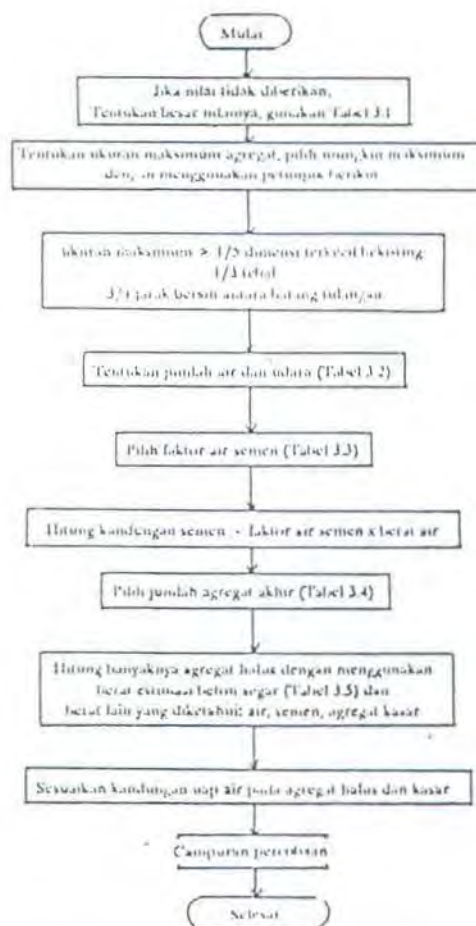
Ukuran gradasi agregat yang terbaik didasarkan pada karakteristik pembungkusan dari butiran material. Fuller dan Thompson (Surbakti,1995)) pada tahun 1907 menentukan bahwa kurva gradasi yang ideal (dengan ruang kosong minimum) dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$P_t = \left[\frac{d}{D} \right]^{1.5} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

P_t = total fraksi lebih halus dari pada d

D = ukuran maksimum partikel butiran



Gambar 2.7. Skema Pembuatan Beton Dengan Metode ACI (Nawy, 1990)

BAB III

BAHAN DAN METODOLOGI

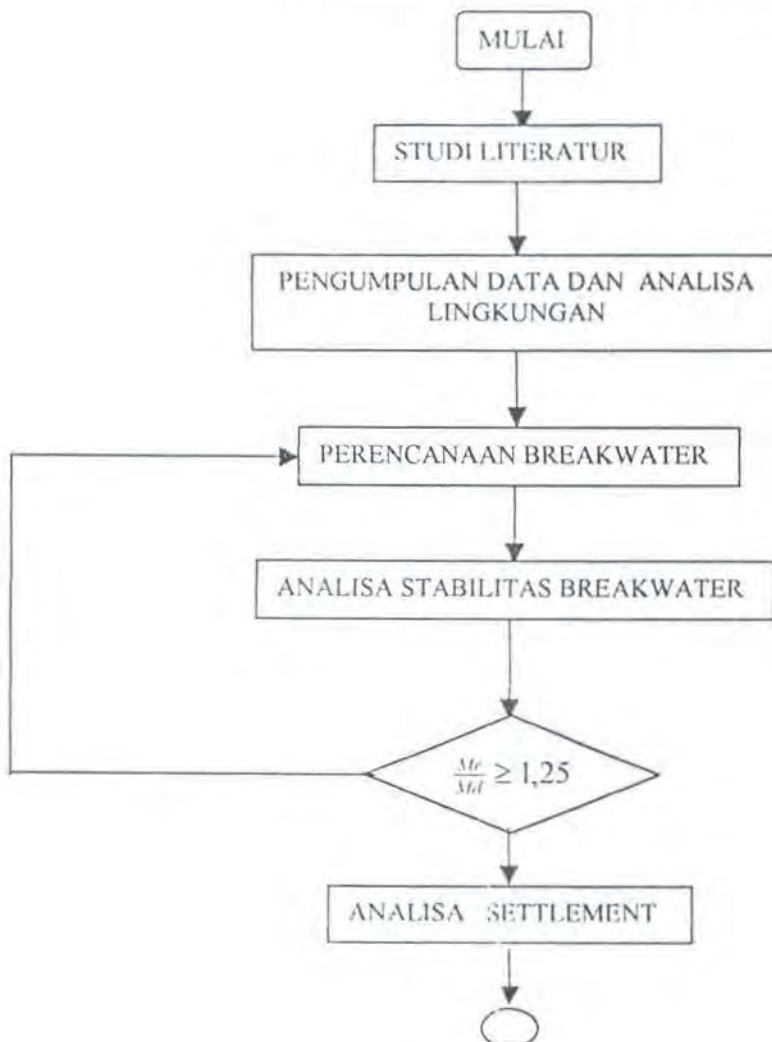
BAB III

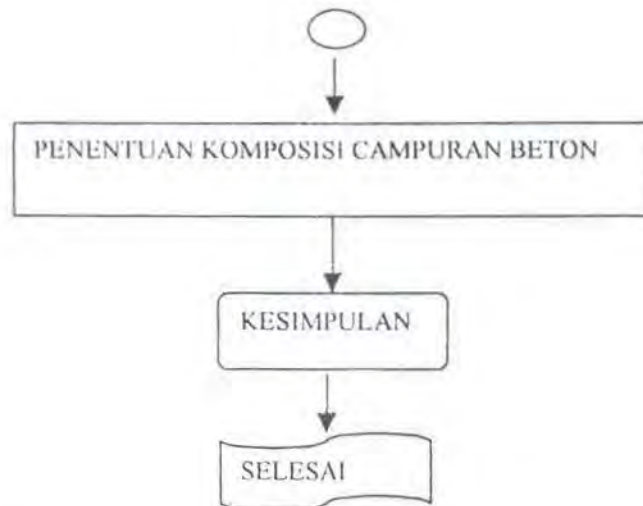
METODOLOGI

III.1. DIAGRAM ALIR

Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian dan penulisan laporan, maka semua bentuk kegiatan yang dilakukan harus disusun secara benar berdasarkan urutan kerja untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan pengalokasian waktu yang optimal. Ada, un urutan kegiatan atau diagram alir dari penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini, adalah :

FLOW CHART TUGAS AKHIR





Gambar 3.1. Diagram Alir Kegiatan Penelitian dan Penulisan Laporan

III.2. PENJELASAN

Berikut ini akan dipaparkan secara singkat dari masing-masing urutan kerja yang dilakukan dalam kegiatan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir. Adapun deskripsi yang dilakukan untuk setiap langkah yang ditempuh merupakan garis besar saja.

III.2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini, dihimpun berbagai teori dan rumus-rumus dasar serta berbagai definisi mengenai topik yang dipilih dalam penelitian dan penyusunan Tugas Akhir dari berbagai sumber yang relevan. Dalam kegiatan studi literatur ini, salah satu jenis sumber pustaka yang dipakai adalah berbagai kegiatan penelitian yang dilakukan sebelumnya dalam bentuk laporan tugas akhir. Berbagai keterbatasan ditemui dalam tahapan ini, salah satunya adalah keterbatasan bahan pustaka yang tersedia yang bisa dijadikan sebagai acuan dalam kegiatan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir.

III.2.2. Pengumpulan Data dan Analisa Lingkungan

Pada tahap berikutnya, dikumpulkan berbagai data penunjang yang sangat berguna untuk kegiatan perhitungan selanjutnya. Untuk merencanakan dan

mendesain suatu bangunan pelindung pantai, berbagai data lingkungan sangat memegang peranan penting. Data yang digunakan dalam kegiatan perencanaan dapat berupa data primer maupun data sekunder. Dengan berbagai pertimbangan dan demi kelancaran dalam penyusunan laporan Tugas Akhir maka data yang dipakai untuk merencanakan bangunan pelindung pantai di Pantai Selabih hanyalah data sekunder saja. Data primer adalah data yang didapatkan dengan mengadakan pengukuran dan pengamatan langsung di lokasi studi, sedangkan data sekunder adalah data pendukung yang didapatkan dengan tanpa mengadakan pengamatan langsung atau mendatangi lokasi studi. Data sekunder ini didapatkan langsung dari Kantor Kepala Proyek Perlindungan Pantai Kanwil PU Bali.

III.2.3. Perencanaan Breakwater

Dalam tahap ini mulai diadakan kegiatan perhitungan mengenai perencanaan breakwater yang paling sesuai dipasang di lokasi. Berbagai dimensi breakwater yang direncanakan antara lain : ketinggian breakwater, lebar puncak breakwater, tata-letak (*lay-out*) breakwater, dan karakteristik batuan pelindung yang digunakan (tebal lapis, jumlah lapis, berat batu pelindung, dan lain-lain).

III.2.4. Analisa Stabilitas Breakwater

Setelah berbagai dimensi yang diperlukan dalam perencanaan breakwater didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah mengetahui kinerjanya (*serviceability*). Salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai indikasi untuk mengetahui kinerja breakwater adalah stabilitas (*stability of breakwater*). Apabila angka stabilitas breakwater yang direncanakan sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan maka breakwater dianggap aman dan mampu menahan berbagai gaya yang bekerja untuk selanjutnya dapat memberikan efek peredaman gelombang yang optimal.

III.2.5. Analisa Settlement

Langkah selanjutnya adalah mengetahui besarnya settlement yang terjadi di lokasi sebagai akibat pemasangan breakwater. Hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah setelah sekian lama ketinggian breakwater masih sesuai atau layak untuk memberikan fungsi operasional yang sesuai. Sebagai akibat pembebanan yang

diterimanya, tanah biasanya akan mengalami *settlement* atau penurunan, dan sebagai akibat penurunan ini maka ketinggian *breakwater* juga akan berubah. Dengan mengetahui besarnya laju *settlement* yang terjadi dan menentukan metode yang tepat untuk mengatasinya, diharapkan fungsi operasional *breakwater* dapat dipertahankan optimal.

III.2.6. Penentuan Komposisi Campuran Beton

Material yang digunakan sebagai *armour unit* adalah dolos yang terbentuk sebagai struktur beton. Kekuatan dan mutu yang baik dari suatu struktur beton sangat tergantung pada komposisi dan metode pencampuran dari masing-masing material penyusunnya. Untuk mendapatkan campuran beton yang baik (yang memenuhi syarat *safety* dan *economy*) ada beberapa metode yang dapat dipakai.

III.2.7. Kesimpulan

Tahap ini merupakan bentuk penulisan ulang dari semua kegiatan perhitungan yang telah dilakukan pada tahap-tahap sebelumnya. Dalam tahap ini dapat dilihat berbagai poin-poin penting yang merupakan tujuan dari kegiatan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir.

III.3. METODOLOGI PENULISAN DAN SISTEMATIKA LAPORAN

Didalam mencari pemecahan masalah didaerah studi sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian, maka diperlukan suatu metologi pekerjaan yang teratur dan sistematis. Analisa dan kegiatan perancangan yang dilakukan berdasarkan pada konsep-konsep dasar yang didapatkan dari berbagai referensi dan literatur yang relevan. Selanjutnya dilakukan analisa mengenai kondisi lingkungan yang terdapat di lokasi, seperti analisa gaya gelombang, analisa tanah, analisa pasang surut, analisa arus dan angin, dan lain-lain. Data yang dikumpulkan dalam pembuatan Tugas Akhir ini merupakan data sekunder. Pengumpulan data/informasi diambil dari kantor PU Propinsi Bali yang diperoleh dari instansi-instansi seperti Badan Meteorologi dan Geofisika, Dinas Hidro-Oceanographi TNI-AL. Sebagian data juga didapat dari pengukuran langsung di lapangan yang dilakukan oleh pihak Nippon Koei, Co.Ltd. sebagai konsultan PU Bali.

Berdasarkan data tersebut maka perancangan konstruksi Rouble -Mound dapat dilakukan. Proses perancangan dimulai dari perhitungan semua gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi dan penentuan besarnya sedimen transport yang diakibatkan oleh energi gelombang. Selanjutnya dari data elevasi muka air, pasang surut, dapat ditentukan dimensi breakwater. Untuk mengetahui kekuatan dan keandalan (*reliability*) dari konstruksi yang direncanakan maka dilakukan analisa stabilitas, berhubung konstruksi ini merupakan konstruksi *breakwater gravity*, maka stabilitasnya tergantung dari berat batu pelindung yang digunakan sebagai material penyusunnya. Analisa stabilitas yang dilakukan pada desain breakwater, dihitung pada saat semua gaya yang bekerja pada breakwater bekerja secara bersamaan. Kemudian semua gaya-gaya yang bekerja pada breakwater dibagi menjadi dua kelompok momen, yaitu : momen driving atau momen yang memindahkan breakwater dan momen resisting atau momen yang akan menjaga breakwater berada pada tempatnya semula. Besarnya perbandingan (rasio) dua komponen momen ini harus lebih besar dari suatu nilai yang telah ditetapkan oleh standard. Dalam banyak kegiatan perencanaan breakwater, nilai ini biasanya diambil 1,25 (Kramadibrata, 1985).

Dari semua data, analisa dan perhitungan lanjutan yang dilakukan diatas, maka diharapkan hasil akhir yang memenuhi spesifikasi standard dari Rouble-Mound Breakwater yang efektif dan sesuai dengan kondisi lingkungan sekaligus memenuhi analisa stabilitasnya.

Setelah didapatkan konstruksi breakwater yang memenuhi syarat stabilitas dan keamanan, kemudian ditentukan besarnya settlement yang terjadi pada konstruksi. Apabila dari hasil perhitungan didapatkan besarnya settlement yang cukup signifikan dan bisa mengancam fungsi breakwater, maka akan dicari metode dan cara yang cocok untuk mengatasi settlement yang terjadi. Metode yang dipakai nantinya akan disesuaikan dengan kondisi dan situasi di lapangan.

Pada tahapan selanjutnya akan dicari jenis dan komposisi yang cocok untuk material penyusun breakwater (beton), yang mampu memberikan fungsi optimal dengan pertimbangan teknis dan ekonomis.

Selanjutnya semua hasil perhitungan yang telah dilakukan disusun dalam bentuk laporan pengerjaan Tugas Akhir dengan sistematika sebagai berikut. Bab I sebagai bab Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, perumusan masalah beserta batasan-batasannya, tujuan dari perencanaan detached breakwater ini dan manfaat yang bisa diambil dan kemudian diakhiri dengan penjelasan mengenai metodologi perencanaan detached breakwater ini. Bab II menguraikan tentang tinjauan pustaka dan landasan teori yang digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan perencanaan detached breakwater dalam rangka menyediakan sistem pengaman pantai. Bab III merupakan bab yang membahas mengenai metodologi yang dipakai dalam kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir. Bab IV membahas mengenai berbagai data yang dipakai dalam kegiatan perhitungan dan perencanaan dimensi breakwater serta menguraikan tentang pembahasan mengenai dasar-dasar yang dipakai dalam perencanaan struktur *Rouble-Mound Detached Breakwater* berupa buku, jurnal dan literatur yang relevan seperti CERC, US.ARMY, CE Conference, dan sebagainya. Dalam bab ini juga disajikan hasil perhitungan yang telah dilakukan secara keseluruhan, sehingga dengan menyelesaikan penulisan bab IV berarti semua bentuk perhitungan sudah selesai. Bab V merupakan bab Penutup yang menguraikan tentang kesimpulan dan saran-saran setelah melakukan perencanaan. Secara garis besar sistematika penelitian bisa dilihat pada gambar flow-chart Tugas Akhir.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. ANALISA DATA

IV.1.1. METODOLOGI PENGUMPULAN DATA

Untuk merencanakan dan mendesain suatu bangunan pelindung pantai, berbagai data lingkungan sangat memegang peranan penting. Data yang digunakan dalam kegiatan perencanaan dapat berupa data primer maupun data sekunder. Oleh karena keterbatasan waktu dan berbagai pertimbangan teknis lainnya maka data yang dipakai untuk merencanakan bangunan pelindung pantai di Pantai Selabih hanyalah data sekunder saja. Data primer adalah data yang didapatkan dengan mengadakan pengukuran dan pengamatan langsung di lokasi studi, sedangkan data sekunder adalah data pendukung yang didapatkan dengan tanpa mengadakan pengamatan langsung atau mendatangi lokasi studi. Data sekunder ini didapatkan langsung dari Kantor Kepala Proyek Perlindungan Pantai Kanwil PU Bali.

IV.1.2. KONDISI LINGKUNGAN PANTAI SELABIH

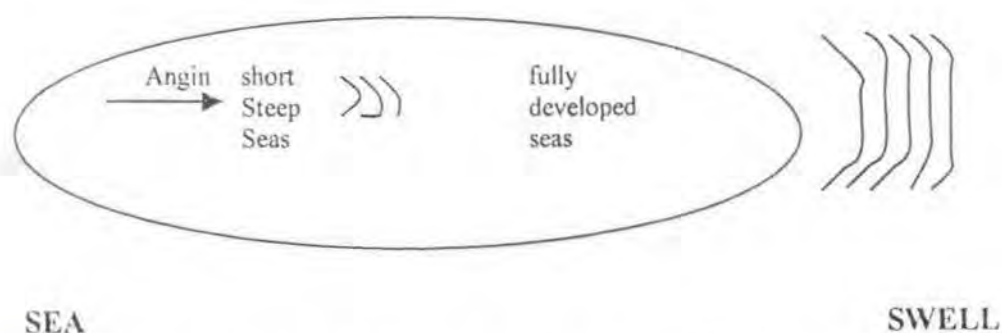
Langkah awal yang dilakukan untuk mengetahui permasalahan di lokasi studi dalam kaitannya dengan perencanaan suatu struktur perlindungan pantai adalah mengetahui kondisi alamnya. Kondisi alam sangat berpengaruh terhadap keberadaan dan kondisi fisik pantai. Baik yang disebabkan oleh angin, gelombang, arus pasang-surut, dan lain sebagainya.

Dari data yang berhasil didapatkan, kemudian dilakukan analisa data. Analisa terhadap data merupakan salah satu tahapan yang terpenting, dimana dari analisa data ini akan dapat diketahui kondisi yang terjadi di lokasi studi dan dapat dijadikan sebagai dasar untuk memecahkan masalah yang terjadi dan pada akhirnya didapatkan hasil perencanaan yang optimal.

Beberapa data yang dikumpulkan dalam pembahasan masalah ini, diantaranya adalah data gelombang, data pasang-surut, data angin, dan beberapa data penunjang yang lain.

IV.1.2.1. ANALISA DATA ANGIN

Gelombang laut dapat dibangkitkan oleh adanya angin, oleh karena itu data angin dapat digunakan untuk memprediksikan tinggi dan arah gelombang di suatu lokasi. Gelombang yang diakibatkan oleh angin berkembang sebagai akibat adanya energi dari udara di atas perambatan gelombang. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air dan akan menimbulkan gelombang. Daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembentukan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembentukan gelombang ini terjadiannya bersamaan dengan hembusan angin, gelombang ini mempunyai bentuk seperti gunung dengan puncak yang tajam, dengan panjang gelombang antara 10-20 kali tinggi gelombang, gelombang semacam ini disebut gelombang *SEA*. Sedangkan gelombang yang menjalar keluar daerah pembentukan merupakan gelombang bebas yang bentuknya lebih beraturan dengan panjang gelombang antara 30-500 kali tinggi gelombang, gelombang semacam ini disebut sebagai gelombang *SWELL*. Gambaran lebih jelas mengenai gelombang ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Pembentukan Gelombang Angin di Daerah Pembangkitan (Pratikto, 1996)

Peramalan besarnya gelombang yang akan terjadi pada suatu daerah dapat dilakukan dengan menggunakan data gelombang yang pernah terjadi, namun apabila data gelombang yang diperlukan tidak tersedia dapat digunakan dengan cara yang lain, yaitu dengan menggunakan data angin yang digunakan sebagai data perhitungan gelombang akibat angin. Hasil analisa yang diharapkan dari perhitungan tersebut sama dengan perhitungan gelombang secara konvensional, yaitu penentuan perioda dan panjang gelombang. Parameter gelombang akibat angin merupakan fungsi dari waktu kecepatan angin berhembus (*duration*).

Data angin yang telah didapatkan kemudian dianalisa sehingga akan didapatkan suatu besaran yang dapat digunakan untuk peramalan besarnya gelombang rencana yang seterusnya berguna untuk perhitungan perencanaan konstruksi breakwater. Gelombang yang dibangkitkan oleh angin disebut juga dengan "*oscillatory wave*" (Silvester, 1974). Dalam penulisan Tugas Akhir ini, data angin yang diambil adalah data angin dari hasil pencatatan dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Jakarta untuk Stasiun Pengamatan Bandara Ngurah Rai selama tujuh tahun, dari tahun 1987 sampai tahun 1993. Hasil pengukuran angin yang didapatkan berupa data kecepatan harian dan arah datangnya angin di Stasiun Pengamatan selama kurun waktu pencatatan 1987-1993.

- **Penentuan Arah Angin Dominan**

Dengan didasarkan pada data angin yang diperoleh dari Kanwil PU Bali, maka prosentase kejadian angin dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1. Data Angin Untuk Stasiun Pengamatan Ngurah Rai, Diambil Persentasi Kejadian Berupa Rata-Rata Untuk Kurun Waktu 1987-1993.

ARAH DATANGNYA ANGIN	JUMLAH KEJADIAN	JUMLAH (DALAM %)
UTARA	33,6	1,20
TIMUR LAUT	289,8	10,35

ARAH DATANGNYA ANGIN	JUMLAH KEJADIAN	JUMLAH (DALAM %)
TIMUR	232,4	8,30
TENGGAHA	299,6	10,7
BARAT DAYA	572,6	20,45
BARAT	355,6	12,70
BARAT LAUT	358,4	12,80
SELATAN	658	23,50
JUMLAH	2.800	100

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa angin yang datang dari arah selatan dan barat daya merupakan arah angin yang dominan. Prosentase kejadian angin yang bertiup dari arah selatan paling besar (23,50 %), sehingga dipilih arah angin dari selatan merupakan arah angin yang dominan, meskipun apabila dibandingkan dengan prosentase arah datangnya angin dari barat daya hanya berbeda sedikit.

- **Penentuan Besar Angin Signifikan**

Langka 1 selanjutnya adalah menentukan berapa besarnya angin yang harus dipergunakan sebagai dasar perhitungan dengan pertimbangan keamanan dan teknis yang aman tetapi tetap dengan analisa biaya yang serendah mungkin. Data kecepatan dan arah angin sangat penting karena dipergunakan untuk memprediksikan tinggi dan arah gelombang yang terjadi. Dari data angin yang didapatkan dari Kanwil PU Bali dapat disimpulkan bahwa :

- Utara : Angin berhembus dengan kecepatan antara 4 -18 knot, frekwensi angin yang terbesar terjadi pada bulan Januari dengan kecepatan 2-4 knot.
- Timur : Angin berhembus dengan kecepatan antara 2-18 knot, dibandingkan dengan angin yang datang dari arah utara, angin yang berhembus dari arah timur memiliki frekwensi yang lebih tinggi. Frekwensi angin yang tertinggi terjadi pada bulan Mei dengan kecepatan 4-8 knot. Angin yang berhembus

pada bulan April-September memiliki frekwensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan September-Maret.

- Selatan : Angin berhembus dengan kecepatan antara 2-20 knot. Angin pada bulan September-Maret memiliki frekwensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan angin pada bulan April-Agustus. Frekwensi angin yang tertinggi terjadi pada bulan Nopember dengan kecepatan antara 8-20 knot. Kecepatan angin yang tertinggi adalah 20 knot.
- Barat : Angin berhembus dengan kecepatan antara 2-18 knot. Pada bulan April-September, frekwensi angin lebih rendah dibandingkan dengan yang terjadi pada bulan Oktober-Maret. Frekwensi angin yang tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan kecepatan antara 8-18 knot.

Pada berbagai kegiatan perencanaan bangunan pelindung pantai dan pelabuhan (*harbour*) biasanya digunakan angin dengan *reccurence interval* 50-100 tahun. Untuk perencanaan breakwater di Pantai Selabih, berdasarkan data diatas maka dapat ditentukan bahwa kecepatan angin maksimum yang terjadi di perairan Pantai Selabih adalah 20 knot. Untuk berbagai pertimbangan teknis dan keamanan serta waktu pakai (*seviceability*) struktur, maka kecepatan angin yang dipakai sebagai dasar perencanaan breakwater diambil 20 knot dengan arah datang dominan dari selatan sebagai kecepatan angin maksimum.

IV.1.2.2. ANALISA DATA GELOMBANG

Data gelombang merupakan salah satu data yang sangat diperlukan dalam kegiatan perencanaan dan pemasangan suatu konstruksi pemecah gelombang terutama data pencatatan dalam jangka panjang. Dari data gelombang yang berhasil dikumpulkan akan didapatkan tinggi gelombang signifikan (H_s) atau $H_{1/3}$ dari keseluruhan gelombang yang terjadi di lokasi studi. Gelombang signifikan dinyatakan sebagai nilai rata-rata dari sepertiga jumlah gelombang yang tertinggi. Mengingat terbatasnya data gelombang di Pantai Selabih yang didapatkan dari Kantor Dinas PU Bali, maka data yang dipakai adalah data gelombang di perairan Pantai Kuta. Pertimbangan ini diambil dengan berdasarkan pada kenyataan bahwa gelombang yang terjadi di Pantai Kuta dan Pantai Selabih daerah pembangkitnya adalah sama, karena jarak kedua lokasi pantai ini yang cukup berdekatan dan terletak pada satu kawasan di Bali Selatan.

• **Tinggi Gelombang**

Penentuan tinggi gelombang yang dipakai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan metoda yang dikembangkan oleh E. Simiu dan R.N. Scanlan, yang secara eksperimental menyatakan adanya hubungan antara efek angin yang ditinjau dengan angin yang bertiup secara merata selama satu jam. Hubungan ini dapat dinyatakan dengan menghitung beberapa detik yang akan diperlukan oleh angin tersebut untuk menempuh jarak sejauh 1 mile (1 mile = 1,6093 km), maka kecepatan angin rencana = 20 knot = 30 km/jam = 18,642 mile/jam. Angin akan menempuh jarak 1 km selama 120 detik, atau akan menempuh jarak 1 mile selama 193,42 detik. Pada kenyataannya besar kecepatan tersebut tidak konstan melainkan akan mereda pada saat-saat tertentu, maka perlu dicari nilai rata-rata dari kecepatan angin tersebut (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) :

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh(0,9 \log_{10} \frac{45}{t}) \dots \dots \dots (4.1)$$

Untuk $1 < t < 3600$, berlaku :

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = -0,15 \log_{10} t + 1,5334 \dots \dots \dots (4.2)$$

Untuk waktu tempuh selama 193,42 detik untuk 1 mile, maka :

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh(0,9 \log_{10} \frac{45}{t})$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh(0,9 \log_{10} \frac{45}{193,42})$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh(0,9 \log_{10} 0,23)$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh(-0,57)$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 - 0,296(\tanh 0,57)$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 - 0,153$$

$$-\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,124$$

$$U_t = 30 \text{ km/jam}$$

$$U_{3600} = 30/1,124 = 26,69 \text{ km/jam} = 7,41 \text{ m/det.}$$

Pada kondisi yang sebenarnya, dalam perjalanannya angin akan mengalami rintangan-rintangan dan gesekan dengan media yang dilaluinya seperti gesekan dengan permukaan laut, sehingga untuk mendapatkan hasil yang valid maka nilai diatas harus dikoreksi dengan memakai rumus berikut ini (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) :

$$U_{,1} = 0,71 U^{1,23} \dots \dots \dots (4.3)$$

$$U_{,1} = 0,71 (7,41)^{1,23} = 8,22$$

$$U_A = 8,22 \text{ m/det} = 29,59 \text{ km/jam.}$$

Dengan nilai U_A yang telah diketahui, maka besarnya tinggi gelombang yang terjadi sebagai akibat angin rencana termasuk periode gelombang dan durasi minimum dapat dihitung dengan berdasarkan pada gambar 4.2 (Triatmodjo, 1999)) dan data panjang fetch diambil dari pencatatan di Pantai Tanah Lot. Untuk kondisi di Pantai Selabih, dengan $U_A = 8,22 \text{ m/det}$ dan panjang fetch = 150 km, maka dengan berdasarkan pada gambar 4.2, didapat :

$$H_s = 1,85 \text{ m}$$

$$T = 5,5 \text{ detik}$$

Hasil pengolahan data diatas kemudian kita verifikasi dengan menggunakan formulasi *P-M Spektrum* (Silvester, 1974), yaitu :

$$H_{1/3} = 0,0185 \times (U_A)^2 \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana :

U_A = kecepatan angin dalam knot

$H_{1/3}$ = *significant wave height*

Kemudian substitusikan nilai kecepatan angin ke dalam persamaan di atas, maka didapatkan :

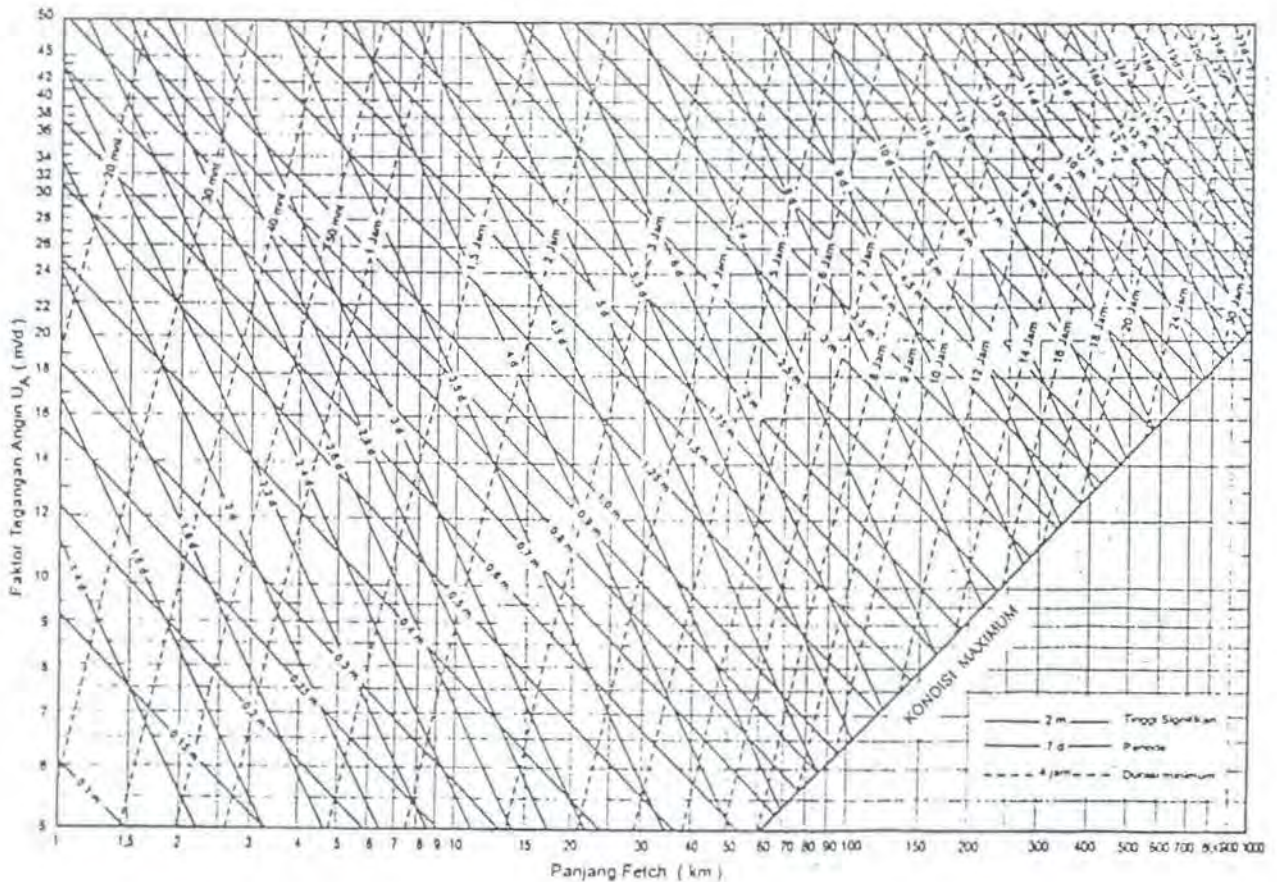
$$H_{1/3} = 0,0185 \times (15,89)^2$$

$$H_{1/3} = 4,67$$

$$H_{1/3} = 1,55 \text{ m.}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa hasil $H_{1/3}$ yang diperoleh dari pengolahan data dan yang diperoleh secara teoritis dengan menggunakan formulasi *P-M Spektrum* memperlihatkan bahwa hasil yang diperoleh tidak sama, dimana hasil yang diperoleh dari hasil pengolahan data lebih besar 19,3 % dibandingkan dengan menggunakan formulasi spektrum, sehingga $H_{1/3}$ yang didapat dari pengolahan data yang ada cukup valid untuk digunakan ($H_{1/3} = 1,85 \text{ m}$).

Untuk mengetahui arah gelombang di Pantai Selabih, pihak konsultan PU Bali dalam hal ini JICA telah melakukan simulasi gelombang untuk mengetahui karakteristik gelombang di Pantai Kuta. Dari simulasi yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa gelombang datang dominan dari arah selatan dan barat daya.



Gambar 4.2. Grafik Peramalan Gelombang (Triatmodjo, 1999)

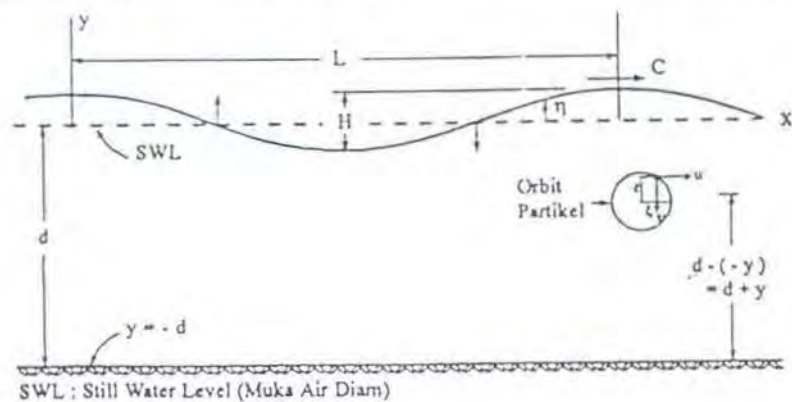
Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa gelombang di sekitar Pantai Kuta akan mengalami distorsi dan pembelokan akibat pengaruh bentuk pulau Bali di ujung selatan. Arah gelombang yang datang dari arah Tenggara dan Selatan akan berubah arah setelah melewati ujung selatan Pulau Bali. Perubahan arahnya adalah mendekati arah Barat Daya.

- **Panjang Gelombang**

Salah satu teori pendekatan yang digunakan dalam memecahkan berbagai permasalahan dalam menganalisa suatu gelombang adalah Teori Gelombang Amplitudo kecil atau *Small Amplitude Wave Theory* (Nur Yuwono, 1992). Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan di dasar laut. Kondisi batas di permukaan air didapat dengan melinierkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rotasional. Potensial kecepatan ini kemudian digunakan untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang, dan sebagainya. Teori ini dalam persamaan-persamaannya menggunakan asumsi-asumsi, sebagai berikut:

- Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
- Tegangan permukaan diabaikan.
- Gaya *coriolis* (gaya sebagai akibat perputaran bumi) diabaikan.
- Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- Zat cair adalah ideal, sehingga aliran yang berlaku adalah aliran tak rotasional.
- Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeabel sehingga kecepatan vertikal di dasar laut adalah nol.
- Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Hubungan antara kecepatan, panjang gelombang dan periode ditunjukkan dalam gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3. Sket Definisi Gelombang (Triatmodjo, 1999)

$$C = \frac{L}{T} \dots \dots \dots (4.4)$$

Dimana :

C = kecepatan (celerity)

L = panjang gelombang

T = waktu tempuh

Hubungan kecepatan dengan panjang gelombang :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana :

$$K = \frac{2\pi}{L} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \dots \dots \dots (4.7)$$

K = wave number

ω = kecepatan sudut

Dari persamaan-persamaan diatas, dapat diturunkan menjadi :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots \dots \dots (4.8)$$

Dari persamaan diatas tampak bahwa di kedua sisi terdapat nilai L, maka persamaan ini akan sulit untuk diselesaikan. Untuk mempermudahnya maka perbandingan d/L dan d/L₀ dalam tabel C-1 SPM dapat dipergunakan (L₀ = panjang gelombang di laut dalam). Akan tetapi untuk pendekatan dapat dipakai rumus :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \dots \dots \dots (4.9)$$

Gelombang gravitasi yang digunakan dalam metoda ini dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori (CERC, SPM. Vol. I, 1984).

Tabel 4.2. Klasifikasi Gelombang Gravitasi

Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Deep Water	$>1/2$	$>\pi$	1,00
Transitional	1/25 to 1/2	1/4 to π	$\tanh(2\pi d/L)$
Shallow Water	$<1/25$	$<1/4$	$2\pi d/L$

- Untuk laut dalam,

$\tanh(2\pi d/L) \approx 1$, sehingga :

$$C = C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 9,8 \frac{T}{2\pi} = 1,56T \dots\dots\dots(4.10)$$

$$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,8}{2\pi} T^2 = 1,56T^2 \dots\dots\dots(4.11)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots(4.12)$$

$$L^2 = gT^2 d \dots\dots\dots(4.13)$$

$$L = T \sqrt{gd} \dots\dots\dots(4.14)$$

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd} \dots\dots\dots(4.15)$$

C dinyatakan dalam m/det, sedangkan L dinyatakan dalam m. Periode (T) untuk laut dalam dan dangkal adalah konstan.

- Untuk laut dangkal,

$\tanh(2\pi d/L) \approx 2\pi d/L$, sehingga :

Dengan memakai semua bentuk persamaan di atas, maka dapat ditentukan karakteristik gelombang di laut dalam untuk kondisi yang telah ditentukan, yaitu :

$$H_0 = 1,85 \text{ m}$$

$$T_0 = 5,5 \text{ detik}$$

$$\text{Maka, } C_0 = 1,56 \times 5,5 = 8,58 \text{ m/det}$$

$$L_0 = 1,56 \times (5,5)^2 = 47,19 \text{ meter}$$

Jadi, gelombang laut dalam yang akan digunakan dalam perhitungan adalah yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- $H_0 = 1,85 \text{ m}$
- $L_0 = 47,19 \text{ meter}$
- $C_0 = 8,58 \text{ m/det}$
- $T_0 = 5,5 \text{ detik}$

IV.1.2.3. ANALISA DATA ARUS

Data mengenai arus sangat diperlukan untuk mengetahui arah dan kecepatan arus di lokasi studi. Dalam melakukan pekerjaan untuk mendapatkan data arus, Nippon Koei Co. selaku pihak konsultan bagi Kanwil PU Bali mengadakan penelitian dengan menggunakan *elektromagnetic wave current meter (wave hunter)* pada kurun waktu 1991-1993. Dari hasil pengamatan yang dilakukan didapatkan hasil pengukuran yang menunjukkan bahwa kecepatan arus berkisar antara 0,008 m/det-0,463 m/det dengan arah dari barat ke timur.

IV.1.2.4. ANALISA DATA PASANG-SURUT

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Pratikto,1996). Meskipun massa bulan jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari.

Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting didalam berbagai kegiatan perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan. Pengamatan pasang surut dimaksudkan untuk mengetahui osilasi frekwensi tinggi yang disebabkan oleh gravitasi permukaan. Dari pengamatan ini akan didapatkan nilai *Mean Sea Level (MSL)* yang akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan kedudukan muka surutan. Di lokasi perairan, elevasi permukaan air diketahui dengan mengukur elevasi permukaan pada kondisi yang dianggap tenang. Fluktuasi elevasi permukaan air dibedakan dalam beberapa jenis penyebab (CERC,SPM. Vol. I, 1984), yaitu :

- Pasang-surut astronomis
- Tsunami
- Gempa bumi
- Wave setup
- Badai laut (*storm*)
- Variasi iklim

Data dan analisa pasang-surut diperlukan untuk mengetahui pola pasang surut dan kedudukan permukaan air laut di lokasi. Data pasang-surut yang dipakai dalam perhitungan pada penulisan Tugas Akhir ini adalah data yang diperoleh dari pencatatan

di pantai Kuta., dengan asumsi bahwa pola pasang-surut antara kedua pantai ini tidak berbeda. Hal ini dapat dimungkinkan karena letak dari kedua tempat ini yang saling berdekatan.

Dalam menentukan pola pasang-surut di daerah Pantai Kuta, Dinas PU Bali melalui pihak konsultannya yaitu Nippon Koei, Co. melakukan pengamatan dan pengukuran dengan mempergunakan alat *automatic tide recording* pada bulan Januari sampai dengan bulan Pebruari, pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan tipe pasang-surut di daerah lokasi studi.

Komponen pasang-surut utama dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Nippon Koei, Co. dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3. Komponen Pasang-Surut Utama

SIMBOL	NAMA KOMPONEN	AMPLITUDO (cm)
K1	Lunar Solar Diurnal	29,25
O1	Principal Lunar Diurnal	18,36
M2	Principal Lunar	57,86
S2	Principal Solar	30,01

Dari tabel 4.3 di atas, selanjutnya dapat ditentukan tipe pasang-surut yang terjadi di lokasi studi dengan cara (Sorensen, 1978) :

- Jika amplitudo $M2 + S2 > \text{amplitudo } K1 + O1$, maka terjadi tipe pasang surut semi-diurnal
- Jika sebaliknya, maka akan terjadi tipe pasang surut diurnal

Tahap selanjutnya, dengan mengadakan substitusi harga-harga di atas maka didapatkan $M2 + S2 = 87,85$ dan harga $K1 + O1 = 47,61$. Ini berarti bahwa harga $M2 + S2 > \text{harga } K1 + O1$.

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa pasang-surut di daerah studi adalah tipe semi-diurnal. Hal ini berarti bahwa pasang-surut di daerah studi terjadi dua kali dalam sehari, artinya dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut tetapi dengan tinggi dan periode yang berbeda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dengan level pasang-surut sebagai berikut :



- ♦ HWL = +1,085 meter
- ♦ MSL = +0,67 meter
- ♦ SWL = +0,00 meter
- ♦ LWS = - 0,75 meter

IV.1.2.5. ANALISA DATA BATHYMETRI DAN TOPOGRAFI

Survey bathymetri dilakukan untuk memetakan perairan di lokasi yang ditinjau. Data bathymetri berupa kedalaman dasar laut, dimana pengukurannya dengan menggunakan alat *echosounder*. Data ini penting untuk menentukan dimensi geometris dari konstruksi breakwater yang hendak dibangun serta menentukan tinggi gelombang pada titik yang ditinjau. Data topografi merupakan informasi detail mengenai topografi dasar laut di sekitar lokasi studi. Topografi merupakan bentuk-bentuk kedalaman dasar laut.

Semua data di atas digunakan untuk mendapatkan data kedalaman dan relief dasar laut di Pantai Selabih. Dengan berdasarkan pada data bathymetri dari Kanwil PU Bali, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kedalaman 1 meter terletak pada jarak 0-25 meter dari garis pantai
2. Kedalaman 2 meter terletak pada jarak 26-80 meter dari garis pantai
3. Kedalaman 3 meter terletak pada jarak 81-110 meter dari garis pantai
4. Kedalaman 4 meter terletak pada jarak 111-135 meter dari garis pantai
5. Kedalaman 5 meter terletak pada jarak 136-165 meter dari garis pantai
6. Kedalaman 6 meter terletak pada jarak +166 meter dari garis pantai

Dari data yang berhasil dikumpulkan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa kedalaman laut di sekitar lokasi studi termasuk dangkal dan landai, dengan kemiringan (m) berkisar antara 0,033.

IV.1.2.6. KONDISI TANAH DI BAWAH KONSTRUKSI

Kestabilan suatu konstruksi breakwater tergantung pada karakteristik tanah sebagai media pendukungnya. Hal ini disebabkan karena tanah dibawah konstruksi yang harus mampu menahan berat struktur dan gaya-gaya yang bekerja padanya. Berdasarkan penyelidikan tanah yang dilakukan oleh PT. Yodya Karya selaku pihak

konsultan dari Kanwil PU Bali, menunjukkan bahwa sebagian besar tanah dibawah konstruksi tersusun atas pasir. Dari penyelidikan tanah juga dapat diketahui bahwa terdapat suatu lapisan yang cukup homogen dengan daya pikul yang cukup baik untuk jenis bangunan yang akan dibuat terdapat pada kedalaman sekitar 8 meter di bawah dasar laut, dengan diselingi lapisan yang berupa tanah lunak. Pembagian lapisan tanah secara lengkap di lokasi, adalah sebagai berikut :

- Pada kedalaman 0-4 meter
 - Lapisan tanah pasir, $\gamma = 1,8 \text{ ton/m}^3$
- Pada kedalaman 4 - 9,50 meter
 - Lapisan tanah pasir, $\gamma = 1,92 \text{ ton/m}^3$
- Pada kedalaman 9,50 - 15 meter
 - Lapisan tanah lunak, $\gamma = 1,60 \text{ ton/m}^3$
- Pada kedalaman diatas 15 meter terdapat lapisan karang yang keras.

Permasalahan dengan adanya lapisan tanah yang berupa tanah lunak merupakan suatu kendala yang harus dihadapi dalam pembangunan suatu konstruksi. Apabila dilihat dari faktor ekonomis, pertimbangan jenis pondasi yang akan digunakan juga harus diperhatikan dengan seksama. Pada beberapa kasus tertentu, untuk pembangunan suatu konstruksi dengan pondasi dangkal maka tanah lunak yang terdapat di dasar laut harus diperbaiki dahulu agar cukup stabil untuk menopang struktur yang hendak dibangun.

IV.1.3. PERMASALAHAN DAN ALTERNATIF PENGAMANAN PANTAI

Dari hasil analisa data keadaan lingkungan yang telah dibahas di atas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa keadaan kawasan Pantai Selabih terjadi penggerusan yang cukup serius dan mengalami hantaman gelombang yang cukup besar. Proses abrasi yang terjadi telah menimbulkan kerusakan pada beberapa fasilitas umum yang ada di kawasan yang bersangkutan. Jika kondisi ini terus dibiarkan, maka gerusan dan proses abrasi akan mencapai berbagai sarana dan prasarana yang menunjang kegiatan pariwisata yang terdapat di Pantai Selabih, sehingga dalam hal ini diperlukan bangunan perlindungan pantai untuk mencegah terjadinya erosi dan menghindari kemungkinan kerusakan yang lebih besar lagi.

Salah satu alternatif yang dapat dipakai adalah *detached breakwater* disamping alternatif lain yang bisa digunakan, yaitu berupa : *groins*, *revetment*, dan lain-lain. Dengan dibangunnya konstruksi *detached breakwater* tersebut diharapkan akan dapat mencegah kerusakan yang lebih besar. Lebih jauh lagi diharapkan dapat terbentuk garis pantai yang baru dari terbentuknya tombolo oleh pembuatan konstruksi *detached breakwater*. Berikut ini akan dijelaskan beberapa kelebihan dan kekurangan pembuatan konstruksi *detached breakwater* sebagai bangunan pelindung Pantai Selabih (USACE, 1992).

- Keuntungan :

1. Konstruksi *detached breakwater* cukup efektif untuk mengatasi erosi yang diakibatkan oleh kehilangan pasir/material (*sand losses*) sebagai akibat arus *longshore* dan *offshore*.
2. Konstruksinya sudah terbukti berhasil dalam melakukan stabilisasi garis pantai.
3. Jenis material penyusunnya mudah didapatkan dan dengan harga yang tidak terlalu mahal, misalnya menggunakan material *rubble-mound* dan *damped stone*.
4. Konstruksinya dibangun untuk memungkinkan terjadi *sand by passing* dan sekaligus mengontrol lajunya.
5. Konstruksi *detached breakwater* merupakan konstruksi *nearshore breakwater* yang secara signifikan mengurangi tinggi gelombang yang menghantam pantai.

- Kekurangan :

1. Ada kemungkinan bahwa biaya yang dikeluarkan untuk membangun *detached breakwater* cukup mahal karena lokasinya yang tidak berhubungan dengan darat (pantai) dan dalam pembuatannya membutuhkan beberapa peralatan penunjang (*floating equipment*)
2. Keberadaannya terkadang mengganggu beberapa aktivitas pantai, terlebih pada kawasan pantai wisata seperti : renang (*bathing*), *surfing*, dan lain-lain.
3. Konstruksi *detached breakwater* mungkin berhubungan dengan garis pantai dengan pembentukan tombolo yang bisa mengakibatkan terganggunya *longshore transport* dan mengakibatkan erosi yang serius di daerah *downdrift*

IV.2. ANALISA PERENCANAAN BREAKWATER

IV.2.1. ASPEK UMUM PERENCANAAN BREAKWATER

Keberadaan data-data awal sangat diperlukan untuk melakukan perhitungan perencanaan breakwater. Untuk melaksanakan pekerjaan perencanaan suatu konstruksi breakwater harus memperhatikan beberapa aspek yang terkait didalamnya. Aspek-aspek ini selalu saling berhubungan, perubahan pada salah satu aspek akan mengakibatkan perubahan pada aspek yang lainnya. Aspek-aspek dalam perencanaan breakwater meliputi tiga hal (Ehrlich & Kulhawy, 1982), yaitu :

1. Mekanisme Operasi :

Menentukan bagaimana struktur tersebut bekerja. Untuk maksud dan tujuan apakah struktur tersebut dibangun. Secara umum konstruksi breakwater dibangun untuk melindungi suatu kawasan pantai yang terletak di belakangnya dengan prinsip kerja mereduksi atau menahan aksi gelombang yang terjadi.

2. Perencanaan Tata Letak (*lay-out design*) :

Menentukan letak dimana struktur tersebut akan bekerja. Dimana letak struktur relatif terhadap garis pantai dan komponen-komponen geometris, seperti : ketinggian, panjang, jarak gap antar breakwater. Ketinggian dan panjang gelombang merupakan dua parameter penting dalam penentuan ukuran geometris dasar suatu konstruksi *detached breakwater*.

3. Desain Struktural :

Meliputi penentuan jenis material yang dipergunakan, dan metode pembangunannya. Jenis material penyusun suatu konstruksi breakwater, seperti yang telah disebutkan pada bab terdahulu ada beberapa jenis, diantaranya : batu alam, tribar, dolos, dan sebagainya. Sedangkan metode pembangunannya adalah bagaimana struktur tersebut dibangun, dimana metode pembangunan struktur akan mempengaruhi kekuatan dan stabilitas struktur.

Untuk menggambarkan suatu konstruksi breakwater harus ditetapkan dahulu karakter-karakter khususnya (Ehrlich & Kulhawy, 1982). Karakter-karakter khusus antara lain :

- A. Jenis struktur, dimana struktur tersebut merupakan struktur yang terletak pada dasar (*bottom-supported*) dan menggunakan jenis material beton (dolos) dalam pembangunannya.
- B. Tata letak, merupakan jenis *shore connected* atau *off-shore*. Pada perencanaan breakwater yang dilakukan ini merupakan jenis *off-shore breakwater* atau *detached breakwater*.
- C. Komponen-komponen geometris, meliputi : tinggi, lebar dan kemiringan struktur breakwater yang akan dibangun.

IV.2.2. PERENCANAAN TATA LETAK

Perencanaan tata letak suatu konstruksi breakwater meliputi penentuan panjang breakwater, jaraknya terhadap garis pantai dan jarak antar breakwater. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa mekanisme perlindungan pantai sangat dipengaruhi oleh panjang breakwater dan jarak relatif terhadap garis pantai. Mekanisme terbentuknya tombolo juga sangat tergantung pada besarnya perbandingan antara panjang struktur breakwater (L_s) dengan jarak relatif ke garis pantai (X).

Penentuan panjang breakwater efektif didasarkan pada suatu koefesien, yaitu *dimensionless breakwater length* (USACE, 1992), dimana perumusannya adalah sebagai berikut :

$$\pi = \frac{L_r}{gT^2}$$

Untuk mendapatkan nilai π , diambil contoh kasus perlindungan pantai di Teluk Mexico, USA dengan $\pi = 0,206$ dan kemudian mengadakan studi perbandingan (*scaling factor*) untuk mendapatkan panjang breakwater efektif di Pantai Selabih.

Untuk kondisi lingkungan di Pantai Selabih dengan $T = 5,5$ detik didapatkan :

$$0,206 = \frac{L_s}{(9,81)(5,5)^2}$$

$$L_s = 0,206(9,81)(30,25)$$

$$L_s = 62,31$$

Dari perhitungan diatas didapatkan panjang breakwater efektif yang sesuai untuk perlindungan Pantai Selabih dengan periode gelombang 5,5 detik adalah sebesar 62,31 meter.

Berikut ini diberikan beberapa alternatif untuk berbagai ukuran panjang breakwater, jaraknya terhadap garis pantai dan panjang celah antar breakwater serta nilai indeks respon pantai yang mungkin terjadi.

Tabel 4.3. Pemilihan Indeks Respon Pantai

ALTERNATIF	Ls(m)	X(m)	Ls/X	Lg(m)	IRP
1A	62,31	93	0,67	50	4,2
2A	62,31	62,31	1	50	3,7
3A	62,31	49,85	1,25	50	3,3
4A	62,31	31,155	2	50	2,5
1B	62,31	93	0,67	65	4,2
2B	62,31	62,31	1	65	3,7
3B	62,31	49,85	1,25	65	3,3
4B	62,31	31,115	2	65	2,5
1C	62,31	93	0,67	80	4,2
2C	62,31	62,31	1	80	3,7
3C	62,31	49,85	1,25	80	3,3
4C	62,31	31,115	2	80	2,5
1D	62,31	93	0,67	100	4,2

ALTERNATIF	Ls (m)	X (m)	Ls/X	Lg (m)	IRP
2D	62,31	62,31	1	100	3,7
3D	62,31	49,85	1,25	100	3,3
4D	62,31	31,115	2	100	2,5

L_s = Panjang struktur

L_g = Jarak antar struktur

X = Jarak struktur terhadap garis pantai

- **Pemilihan Indeks Respon Pantai**

Pemilihan indeks respon pantai didasarkan pada besarnya respon pantai yang dikehendaki setelah dibangunnya konstruksi *detached breakwater*. Pada kasus perlindungan Pantai Selabih, besarnya indeks respon pantai dipilih 2,5 dengan maksud agar terbentuk tombolo periodik. Dengan terbentuknya tombolo periodik diharapkan keseimbangan pantai akan tercapai kembali, sehingga pada gilirannya nanti kerusakan pantai yang lebih parah dapat dicegah.

Selanjutnya dilakukan pemilihan alternatif struktur *detached breakwater* dengan menggunakan dasar-dasar pertimbangan sebagai berikut :

- A. Panjang bangunan dipilih konstruksi yang paling pendek.
- B. Kedalaman dasar dipilih pada daerah perairan dengan tingkat kedalaman yang paling rendah. Hal ini dimaksudkan agar ketinggian breakwater dapat diminimalkan dan optimasi biaya diperoleh.
- C. Lokasi pembuatan konstruksi *detached breakwater* diusahakan pada jarak yang sedekat mungkin dengan pantai. Hal ini berhubungan dengan kemudahan akses material ke lokasi dan kepentingan *monitoring* serta *repairing*.
- D. Perubahan pantai dipilih apabila terjadi perubahan pantai oleh erosi yang paling kecil.
- E. Transport sedimen karena pengaruh perbandingan-perbandingan ukuran dipilih transport sediment yang paling kecil.

Dengan menggunakan berbagai pertimbangan diatas, maka didapatkan empat buah alternatif tata letak struktur breakwater, yaitu : 4A, 4B, 4C, dan 4D. Untuk dapat menentukan konstruksi mana yang paling optimal, disusun tabel berikut

Tabel 4.4. Panjang Total Setiap Alternatif

No. Alternatif	Ls (m)	X (m)	Lg (m)	Jumlah Rencana (m)	Panjang Total BW (m)	Panjang Total Gap (m)
4A	62,31	31,115	50	17	1020	800
4B	62,31	31,115	65	14	910	845
4C	62,31	31,115	80	13	845	960
4D	62,31	31,115	100	11	715	1000

Dari tabel diatas selanjutnya dapat ditentukan karakteristik konstruksi breakwater yang hendak dibangun, yaitu :

1. Panjang total bangunan atau konstruksi breakwater dipilih 715 m, dengan pertimbangan bahwa panjang breakwater dipilih yang sependek mungkin (untuk pertimbangan ekonomis dan penghematan material) namun dengan memperhatikan bahwa konstruksi breakwater masih dapat berfungsi secara optimal.
2. Kedalaman rata-rata perairan pada jarak 31,115 meter dari garis pantai adalah ± 2 meter.
3. Konstruksi detached breakwater yang dipilih memiliki indeks respon pantai 2,5. Hal ini berarti bahwa konstruksi breakwater yang akan dibangun hanya akan menimbulkan tombolo periodik. Tombolo periodik yang akan terbentuk akan mengakibatkan perubahan yang kecil pada pantai dan meskipun terjadi transportasi sedimen namun tetap akan terjadi keseimbangan proses di pantai.
4. Nilai perbandingan antara panjang breakwater dengan jarak relatif ke garis pantai (Ls/X) adalah $62,31/31,115 = 2$. Dengan demikian, akan terbentuk tombolo karena menurut Dally and Pope, 1986 (USACE, 1992) dengan nilai $Ls/X > 1,5$ akan terbentuk tombolo di belakang konstruksi *detached breakwater*.

IV.2.3. ANALISA GELOMBANG

Tahap selanjutnya dalam merencanakan suatu konstruksi breakwater adalah melakukan analisa dan perhitungan mengenai semua aspek karakteristik gelombang yang terjadi pada lokasi dimana breakwater akan dipasang. Perhitungan karakteristik gelombang disini mencakup ketinggian gelombang (*wave elevation*), panjang gelombang, penentuan kondisi gelombang pecah (*breaking waves*) dan beberapa parameter gelombang yang lain. Penentuan karakteristik gelombang di lokasi (*site*) sangat penting dan fundamental karena penentuan beberapa dimensi breakwater sangat tergantung pada besarnya beberapa parameter gelombang.

- **Panjang Gelombang di Lokasi**

Penentuan panjang gelombang di lokasi pemasangan breakwater didasarkan pada rumus di depan (pers. 4.9). Konstruksi breakwater yang direncanakan dipasang pada kedalaman kira-kira 2 meter dengan jarak relatif sebesar 50 m dari garis pantai. Perhitungan panjang gelombang pada suatu titik juga dapat dilakukan dengan bantuan program komputer, listing program komputer untuk penentuan panjang gelombang di lokasi dapat dilihat pada *Lampiran A*.

Panjang gelombang pada kedalaman 2 meter :

$$L = L_0 \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)}$$

$$L = 47,19 \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \cdot 2}{5,5^2 \cdot 9,81}\right)}$$

$$L = 47,19 \sqrt{\tanh(0,27)}$$

$$L = 47,19 \cdot 0,51341$$

$$L = 24,2278$$

Maka besarnya $d/L = 2/24,2278 = 0,082549$, jadi kondisi perairan dimana konstruksi *detached breakwater* akan dibangun termasuk perairan laut transisi (tabel 4.2).

- **Analisa Tinggi Gelombang di Lokasi**

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut (Sorensen, 1991). Salah satu parameter gelombang yang berubah adalah ketinggian gelombang.

Adapun langkah-langkah untuk menentukan ketinggian gelombang di lokasi, adalah sebagai berikut :

$$d/L_0 = 3/47.19 = 0,042381$$

Dari tabel C-1 di buku SPM volume 2 didapatkan bahwa untuk harga $d/L_0 = 0,042381$

$$\frac{H}{H_0} = 1,055$$

$$H_0' = H/1.055 = 1.85/1.055 = 1,7535$$

Jadi, ketinggian gelombang pada saat mulai menghantam struktur detached breakwater, adalah : 1,7535 m \approx 1,75 meter.

• Analisa Gelombang Pecah

Untuk dapat merencanakan struktur bangunan pelindung pantai secara optimal, terlebih dahulu harus diketahui mengenai analisa dan kondisi gelombang pecah (*breaking waves*). Penentuan kondisi gelombang pecah sangat berpengaruh pada penentuan beberapa koefesien dalam penentuan dimensi breakwater.

Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kemiringan gelombang itu sendiri, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Tinggi gelombang yang bergerak di laut dibatasi oleh suatu keadaan, yaitu apabila kecepatan partikel air di puncak gelombang sama dengan kecepatan jalarnya maka kondisi gelombang ini dikatakan stabil, sedangkan apabila kondisi ini terlampaui maka gelombang akan pecah disertai dengan pelepasan energi. Perhitungan ketinggian gelombang pecah dapat ditentukan dari gambar 4.4 (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) dengan membandingkan :

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{1.85}{(9.81 \times 5.5)^2}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = 0,00623$$

Lihat gambar 4.4 dan cocokkan harganya untuk nilai $m = 0,033$ sehingga didapatkan nilai H_b/H_0

$$\frac{H_b}{H_o'} = 1,15$$

Kemudian,

$$H_b = 1,75(H_o') = 1,15 \times 1,85$$

$$H_b = 2,1275$$

Jadi ketinggian gelombang saat pecah mencapai 2,1275 meter.

Untuk menentukan pada kedalaman berapa gelombang akan mengalami kepecahan dapat ditentukan dengan menggunakan gambar 4.5. Penentuan kedalaman gelombang pecah sangat penting untuk mengetahui jenis aksi struktur terhadap gelombang datang. Perhatikan gambar 4.5 dengan memasukkan nilai H_b/gT^2 .

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,1275}{(9,81 \times 5,5)^2} = 0,007176$$

Dari gambar 4.5, dengan memasukkan nilai diatas dan mencocokkannya dengan nilai slope atau kemiringan lereng pantai akan didapatkan nilai α dan β .

$$\alpha = 1,51$$

$$\beta = 1,2$$

Daerah range atau jangkauan gelombang pecah dapat ditentukan, sebagai berikut :

$$d_n(\text{max}) = \alpha.H_b = (1,51).(2,1275) = 3,2125$$

$$d_n(\text{min}) = \beta.H_b = (1,2).(2,1275) = 2,553$$

Dari semua perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa gelombang akan mengalami kepecahan pada kedalaman antara 2,553 meter sampai 3,2125 meter, sehingga pada saat gelombang mulai menghantam konstruksi breakwater sudah dalam kondisi gelombang pecah. Metode lain untuk mengetahui karakteristik gelombang pecah adalah dengan menggunakan rasio atau perbandingan antara ketinggian gelombang pecah dengan kedalaman perairan (USACE, 1992). Dari perhitungan diatas diketahui bahwa besarnya rasio, adalah :

$$\frac{H_b}{d} = \frac{2,1275}{2} = 1,06375.$$

Karena nilai perbandingan yang didapatkan $> 0,78$ maka dapat dipastikan bahwa gelombang akan pecah sebelum mencapai konstruksi breakwater atau konstruksi breakwater akan berada pada kawasan *surf-zone*.

Penentuan karakteristik gelombang pecah pada perairan pantai adalah salah satu hal yang terpenting dalam perencanaan breakwater. Persoalan mengenai hal ini sudah dipelajari secara luas, namun mekanisme dari gelombang pecah masih belum

begitu jelas. Penentuan jenis atau kondisi gelombang pecah dapat diperoleh dari kombinasi antara wave steepness dan kemiringan dasar laut. Ada tiga jenis gelombang pecah yang diketahui secara umum, yaitu : *spilling breakers*, *plunging breakers* dan *surging breakers* (Novak & Narayanan, 1996). Gambaran secara jelas dari ketiga jenis gelombang pecah diatas dapat dilihat pada gambar 4.7. Penentuan jenis gelombang pecah dapat dicari dengan cara berikut :

$$\xi = \frac{m}{(H_{e,0})^{0,5}}$$
$$\xi = \frac{0,033}{(1,89 \cdot 12,19)^{0,5}} = 0.166$$

Dari gambar 4.6 dapat ditentukan bahwa jenis gelombang pecah yang terjadi di Pantai Selabih adalah jenis *spilling breakers*. Penentuan jenis gelombang pecah yang terjadi di pantai juga dapat dicari dengan melihat gambar 4.4 secara langsung. Adapun karakteristik jenis gelombang pecah *spilling breakers* adalah jenis gelombang ini memiliki nilai steepness yang kecil dan gelombang biasanya pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan terjadi secara berangsur-angsur (Sorensen, 1991).

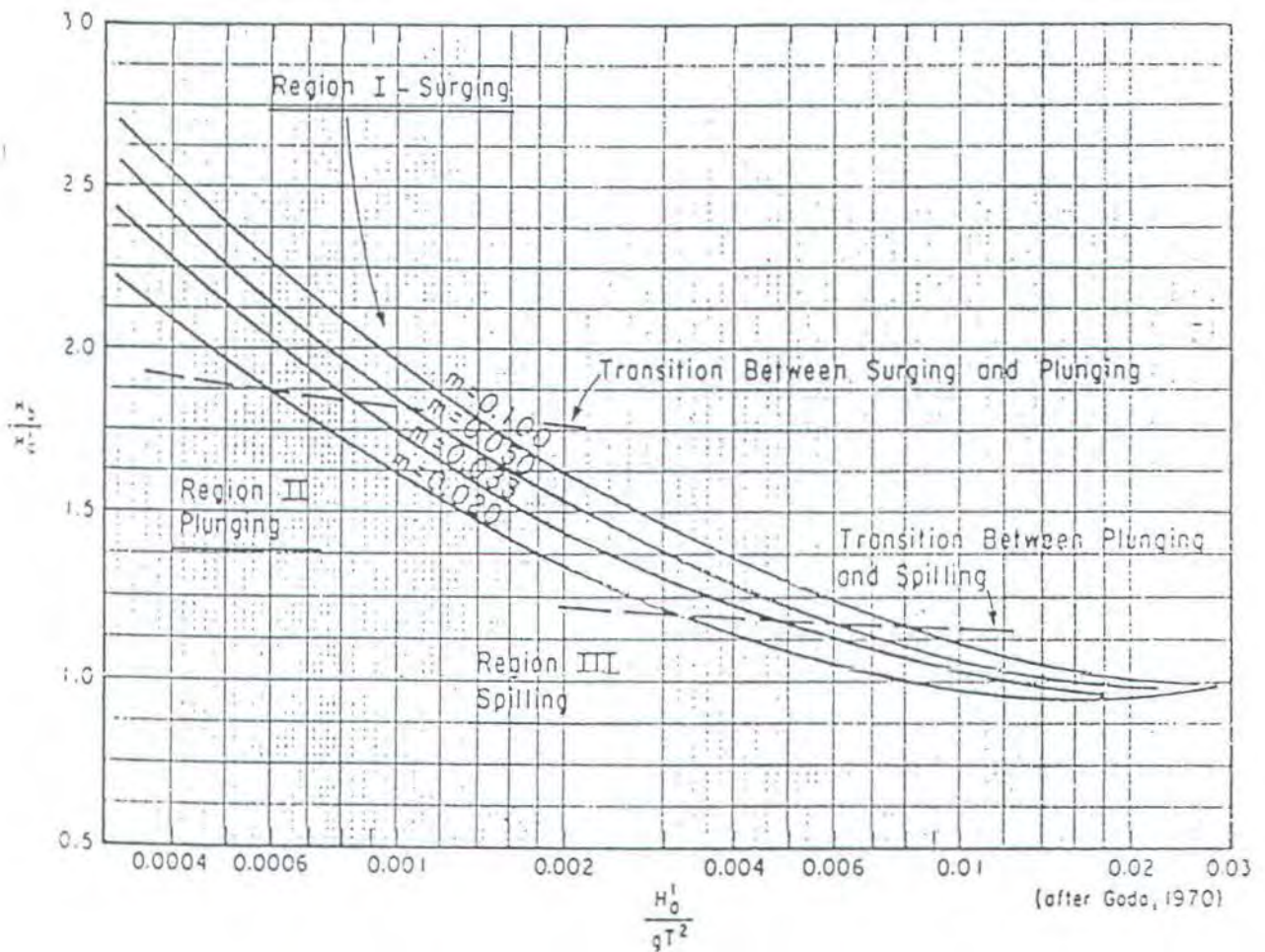
Tipe atau jenis gelombang pecah yang terjadi sangat berpengaruh terhadap nilai stabilitas suatu bangunan pelindung pantai. Hal ini juga sangat mempengaruhi jumlah dan besarnya energi yang akan direfleksikan dari suatu *slope* (kemiringan bangunan) dan ketinggian atau elevasi *run-up* yang terjadi pada slope.

- **Analisa Kondisi Gelombang Setelah Melewati Breakwater**

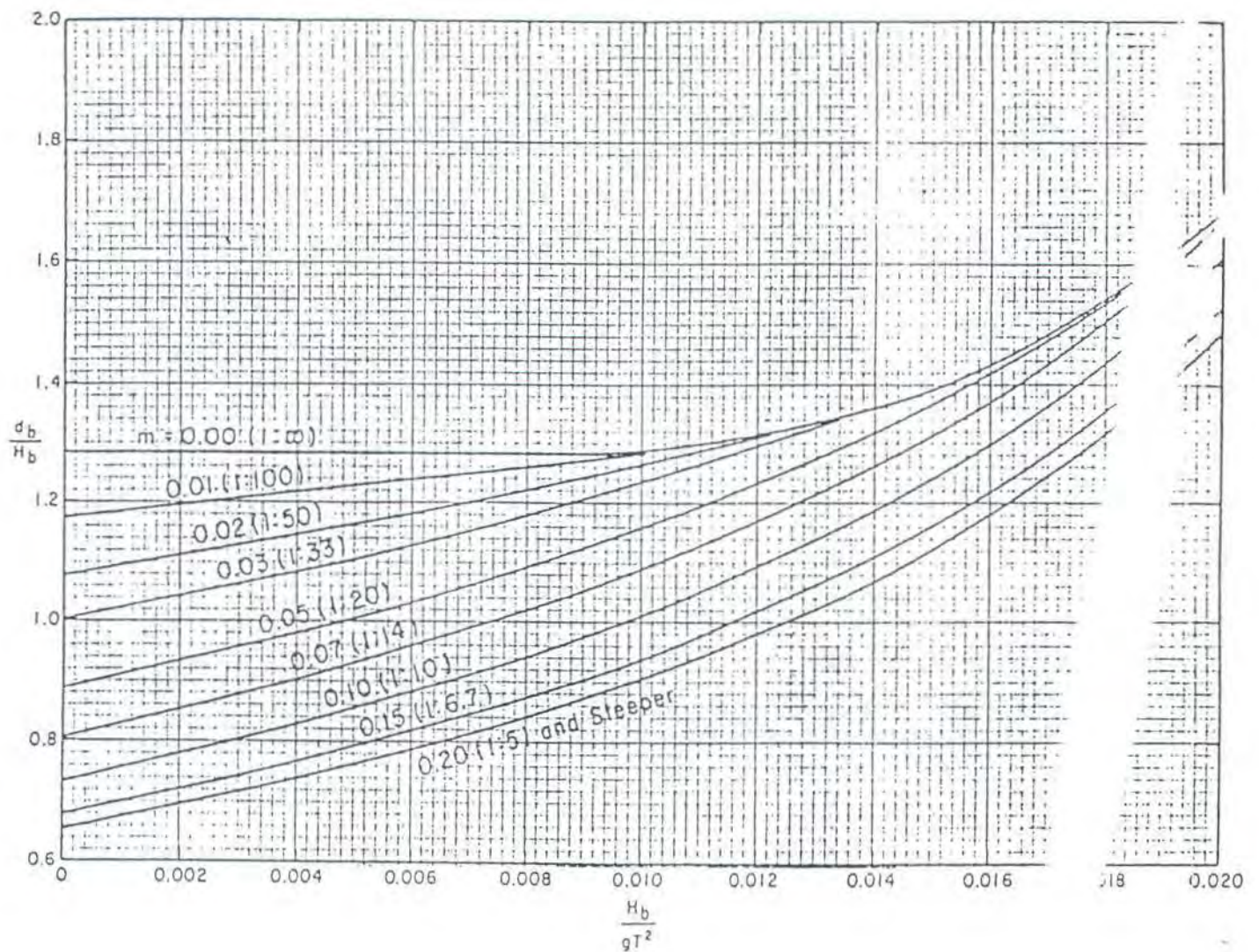
Setelah gelombang menghantam konstruksi breakwater maka gelombang tersebut akan mengalami difraksi dengan disertai peristiwa transfer energi. Adanya proses difraksi akan mempengaruhi panjang gelombang pada pantai. Perhitungan difraksi pada struktur detached breakwater harus mempertimbangkan lebar celah antar breakwater (gap) dan besarnya sudut datang gelombang yang menghantam breakwater. Dengan mengadakan penelitian pada tahun 1976 dan 1980, Memos mengembangkan suatu pendekatan analitik untuk memecahkan persoalan mengenai proses difraksi yang melalui suatu celah antara dua buah breakwater (CERC, SPM. Vol.1, 1984). Perubahan yang terjadi adalah pada pola arah gelombang dan panjang gelombang. Adapun pola untuk Pantai Selabih dengan $\phi = 45^0$ (arah gelombang datang dari Barat

Daya) ditunjukkan pada Fig. 2-56 SPM. Vol. 1 halaman 2-102. Sedangkan untuk menghitung perubahan tinggi gelombang yang terjadi dapat dicari dengan rumus berikut (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) :

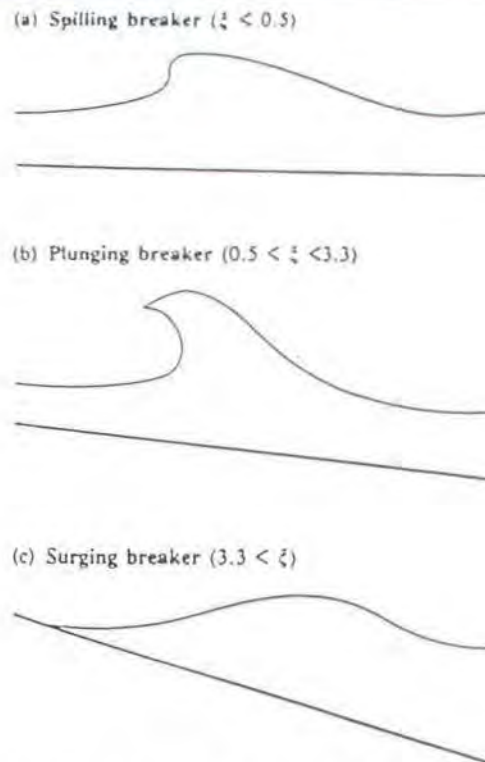
$$H_D = K' \cdot H_s$$



Gambar 4.4. Breaker Height Index versus Deepwater Wave Steepness H_0/gT^2
(CERC, SPM. Vol. 1, 1984)



Gambar 4.5. Perhitungan α dan β Terhadap H_b/gT^2



Gambar 4.6. Jenis Gelombang Pecah di Pantai (Novak & Narayanan, 1996)

Dimana :

H_{Dj} = Tinggi gelombang setelah melalui proses difraksi oleh struktur breakwater

K' = Koefesien difraksi

H_S = Tinggi gelombang di pantai

Pada persamaan diatas, nilai koefesien difraksi ditentukan dengan berdasarkan pada gambar Fig.2-28 sampai Fig. 2-39, SPM. Vol. 1. Grafik ini secara lengkap dapat dilihat pada bagian *Lampiran B*. Untuk memperoleh besarnya koefesien difraksi, terlebih dahulu harus diketahui harga perbandingan (rasio) antara lebar celah breakwater dengan panjang gelombang yang terjadi di pantai (X/L). Dari perhitungan sebelumnya diketahui bahwa harga $L = 24,2278$ meter.

- Untuk lebar gap (X) = 100 meter

$$X/L = 100/24,2278 = 4,1275$$

Dengan menggunakan Fig. 2-30 dan Fig. 2-36 yang terdapat pada SPM. Vol.1., kemudian didapatkan harga K' , yaitu :

$$K'_R = 0,55 \text{ (Fig. 2-30)}$$

$$K'_{L_1} = 0,08 \text{ (Fig. 2-36)}$$

Menentukan besarnya K' (koefisien difraksi) :

$$K' = \sqrt{K_R'^2 + K_L'^2 + 2.K_R'.K_L'.\cos\Theta}$$

$$K' = \sqrt{0,55^2 + 0,08^2 + 2.0,55.0,08.\cos 45}$$

$$K' = \sqrt{0,3025 + 0,0064 + 0,0622}$$

$$K' = \sqrt{0,3711}$$

$$K' = 0,60$$

Dengan demikian dapat ditentukan harga H_D sebesar :

$$H_D = K'. H_s$$

$$H_D = (0,60).(1,75 \text{ meter})$$

$$H_D = 1,05 \text{ meter} \approx 1 \text{ meter.}$$

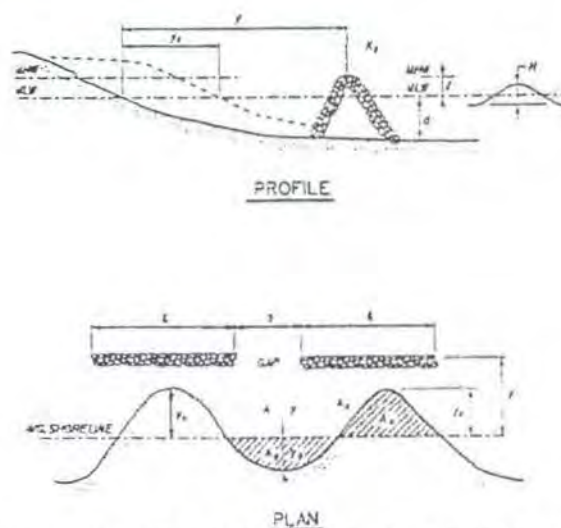
Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa tinggi gelombang di belakang breakwater menjadi 1 meter, sehingga prosentase pengurangan tinggi gelombang setelah melewati konstruksi breakwater dapat dihitung sebagai berikut :

$$P(\%) = \frac{1,75-1,05}{1,75} \times 100\%$$

$$P(\%) = 0,4 \times 100\%$$

$$P(\%) = 40\%$$

Dengan adanya perubahan tinggi gelombang akan mempengaruhi pula bentuk pola endapan yang akan terjadi di belakang breakwater, hal ini selanjutnya akan berpengaruh pula pada perubahan yang terjadi pada garis pantai. Adapun bentuk pantai yang diharapkan pada kasus Pantai Selabih adalah berbentuk sinusoidal seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.6. Kemungkinan Perubahan Garis Pantai (USACE, 1992)

IV.2.4. PERHITUNGAN ELEVASI BREAKWATER

Perencanaan ketinggian atau elevasi puncak breakwater ditentukan oleh tinggi muka air maksimum di lokasi, ketinggian gelombang rencana, perhitungan *wave run-up* dan kondisi perencanaan apakah gelombang yang datang boleh melewati breakwater atau tidak. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti faktor ekonomis, efisiensi, efektifitas dalam hal konstruksi serta mempertimbangkan fungsi operasionalnya, maka *wave run-up* dan *over-topping* masih diperbolehkan sehingga breakwater yang direncanakan masih boleh terlewati oleh air. Pertimbangan *over-topping* juga diambil karena mengingat kondisi pantai yang hendak dilindungi termasuk salah satu obyek wisata di Bali.

Pada waktu gelombang menghantam konstruksi breakwater, gelombang tersebut akan naik (*run-up*) pada permukaan bangunan. *Run-up* tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang yang terjadi (Triatmodjo, 1999).

Perhitungan *run-up* yang terjadi, adalah sebagai berikut :

$$\xi = \frac{f \cdot \tan \Phi}{(L_0)^{0,5}}$$

Dimana :

ξ = Bilangan tak berdimensi

Φ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang, direncanakan 1:2

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam

$$\xi = \frac{0,5}{(L_0)^{0,5}}$$

$$\xi = \frac{0,5}{(0,037)^{0,5}} = \frac{0,5}{0,192}$$

$$\xi = 2,60$$

Dengan mencocokkan nilai ξ dengan R_s/H_s untuk struktur dolos pada grafik perhitungan *run-up* di *Lampiran C*, didapatkan nilai :

$$\frac{R_s}{H_s} = 0,90$$

$$R_s = 0,90 \times H_s = (0,90) \times (1,75)$$

$$R_s = 1,575$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa besarnya tinggi gelombang run-up adalah 1,575 meter, hal ini berarti bahwa gelombang akan merambat naik 1,575 meter dari ketinggian pada saat gelombang menghantam struktur. Jadi ketinggian gelombang total yang akan menghantam struktur breakwater sebagai akibat gelombang datang dan run-up yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Tinggi total} &= (H_s) + (R_u) \\ &= (1,75) + (1,575) \\ &= 3,325 \text{ meter.}\end{aligned}$$

Perencanaan elevasi pemecah gelombang (Triatmodjo, 1999) :

$$EL_{\text{pemecah}} = HWL + Ru + Tk$$

Karena jenis konstruksi breakwater yang direncanakan di Pantai Selabih adalah tipe over-topping, maka nilai Tk (tinggi kebebasan) tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.

- HWL (highest water level), dari data lingkungan diketahui besarnya : 1,085 meter.
- Ru (run-up), dari perhitungan sebelumnya didapatkan : 3,325 meter.

$$EL_{\text{pemecah}} = (1,085) + (3,325)$$

$$EL_{\text{pemecah}} = 4,41$$

Ketinggian breakwater sebesar 4,41 meter adalah ketinggian breakwater dihitung dari muka air rata-rata (SWL), sehingga ketinggian breakwater total ditentukan sebagai berikut :

$$H_{\text{pem.gel}} = EL_{\text{pemecah}} + EL_{\text{Dsr.Laut}}$$

$$H_{\text{pem.gel}} = (4,41) + (2)$$

$$H_{\text{pem.gel}} = 6,41$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa : ketinggian total breakwater dari dasar laut adalah 6,41 meter.

IV.2.5. PERHITUNGAN BERAT BATU PELINDUNG

Konstruksi *detached breakwater* yang akan dibangun di Pantai Selabih tersusun atas tumpukan beton yang berbentuk dolos yang disusun sedemikian rupa, oleh karena konstruksi ini merupakan jenis konstruksi gravitasi sehingga berat batuan pelindung merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap keandalan (*reliability*) dan

kelayakan (*serviceability*) struktur. Penentuan berat batuan pelindung untuk konstruksi breakwater menggunakan rumus Hudson (Triatmodjo, 1999) :

$$W = \frac{W_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \sin \phi}$$

Dimana :

W = Berat satuan armour unit

W_r = Berat jenis beton, diambil 2200 kg/m^3

K_d = koefesien stabilitas badan atau kepala

S_r = Perbandingan berat jenis beton dengan berat jenis air laut

ϕ = Sudut kemiringan konstruksi

H = Ketinggian gelombang di lokasi, signifikan terhadap kerusakan

Penentuan berat satuan batu pelapis (*armour unit*) dapat juga dilakukan dengan menggunakan formulasi yang dikembangkan oleh CERC, US Army (CERC, SPM. Vol. 1, 1984) dibawah ini :

$$Ns = \frac{(H_t^2 L_p)^{1/3}}{(W_r)^{1/3} (W_w - 1)}$$

Dimana :

$Ns < 6$ untuk pergerakan kerusakan yang sangat kecil

$Ns > 8$ untuk kerusakan yang mengakibatkan berubahnya bentuk breakwater

W = Berat satuan batu pelapis

W_r = Berat jenis beton

W_w = Berat jenis air laut

H_t = Tinggi gelombang di lokasi

L_p = Panjang gelombang pada perairan yang ditinjau

Penentuan berat satuan batu pelindung yang akan digunakan sebagai armour unit harus pula memperhitungkan masalah prosentase kerusakan struktur breakwater yang dapat terjadi dan masih dalam batas yang diijinkan. Prosentase kerusakan yang terjadi pada breakwater dinyatakan dalam bentuk perbandingan H/H_d seperti yang terlihat pada tabel 4.5. Nilai K_d yang akan direncanakan dapat dilihat pada tabel 4.7, dimana pada tabel ini ditunjukkan no-damage criteria dan kondisi minor over-topping. Prosentase kerusakan struktur breakwater di Pantai Selabih yang diijinkan adalah

berkisar antara 5 % sampai 10 %. Dari tabel 4.5 diketahui bahwa untuk tingkat kerusakan 5-10%, untuk struktur penyusun dari dolos perbandingan H/H_d adalah 1,10.

Karena ketinggian gelombang (H) yang menyebabkan kerusakan sebesar 5-10% adalah 1,75 meter, maka :

$$\frac{H}{H_{D=0}} = 1,10$$

$$H_{D=0} = \frac{H}{1,10}$$

$$H_{D=0} = \frac{1,75}{1,10} = 1,60$$

Dari tabel 4.7 untuk kondisi breaking wave, struktur head untuk dolos didapat $K_D = 8,0$ dan $\cot \theta = 2,0$. Untuk konstruksi breakwater dengan kedalaman 2 meter, berat satuan batu pelindung yang diperlukan adalah :

$$W = \frac{(2200)(1,60)^3}{18(2,2-1)^3 \cdot 2}$$

$$W = \frac{9011,2}{62,208} = 144,85$$

Untuk memudahkan dalam perhitungan selanjutnya maka berat satuan batu pelindung diambil 145 kg.

Perhitungan berat satuan batu pelindung dengan menggunakan rumus CEP.C, SPM. Vol.1, 1984 didapatkan hasil sebagai berikut :

- N_s = digunakan 8 (untuk kondisi kerusakan maksimum)
- H_t = 1,60 meter
- W_r = 2200 kg/m³
- L_p = 24,2278 meter

$$8 = \frac{(1,6^2 \cdot 24,2278)^{\frac{1}{3}}}{(\frac{W}{2200})^{\frac{1}{3}} (2,2-1)}$$

$$8 = \frac{3,958}{(\frac{W}{2200})^{\frac{1}{3}} (1200)}$$

$$8,1,2(\frac{W}{2,2})^{\frac{1}{3}} = 3,9584$$

$$W = 0,06588.2,2$$

$$W = 0,1459$$

$$\begin{aligned} W &= (0,1459) \cdot (1000 \text{ kg}) \\ &= 145,9 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Dari kedua cara perhitungan diatas didapatkan nilai berat satuan batu pelindung yang tidak begitu jauh berbeda, dan untuk pertimbangan teknis diambil nilai yang terkecil. Dengan demikian didapatkan harga berat satuan batu pelindung sebesar $W = 145$ kg, sedangkan untuk berat batu lapisan pendukung dan lapisan inti perencanaan harganya akan mengikuti berat lapisan utama, yaitu (CERC, SPM. Vol. 2) :

- Untuk lapisan pendukung dipakai $W_p = W/10$ atau $W_p = 14,5$ kg, dengan gradasi ukuran dan berat beton berkisar antara 130 % sampai 70 %.
- Untuk lapisan inti dipakai $W_i = W/200$ atau $W_i = 0,725$ kg, dengan harga gradasi ukuran beton berkisar antara 150 % sampai 50 %.

IV.2.6. PERHITUNGAN LEBAR BIDANG DATAR

Penentuan lebar bidang datar *detached breakwater* dengan tipe rouble-mound digunakan formulasi seperti yang terdapat pada CERC, SPM. Vol. 1, 1984 (pers.2,4) :

$$B = n \cdot K_A \left(\frac{W}{W_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$n = 3$, jumlah lapisan pada bagian teratas breakwater diambil 3.

$K_A = 0,94$ (tabel 4.6, diambil dari SPM. Vol. 2, 1984)

Perhitungan lebar bidang datar (lebar mercu) breakwater dengan menggunakan persamaan diatas, adalah sebagai berikut :

$$B = 3 \cdot 0,94 \left(\frac{145}{2200} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = (2,82)(0,0659)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = (2,82)(0,41) = 1,139$$

Dari perhitungan diatas didapatkan lebar bidang datar breakwater sebesar 1,139 meter dan untuk pertimbangan keamanan diambil harga sebesar 1,15 meter.

Perhitungan lebar mercu breakwater dengan metode lain adalah dengan memakai persamaan 2.5, seperti yang terdapat pada buku SPM. Vol.1, 1984. Dengan mengambil tinggi gelombang rencana di lokasi adalah 1,75 meter dan periode gelombang sebesar 5,5 detik serta dengan kedalaman perairan adalah 2 meter maka

didapatkan L_p sebesar 24,2278 meter, sehingga didapatkan harga lebar mercu *detached breakwater* :

$$B = 0,5 L_p$$

$$B = (0,5).(24,2278)$$

$$= 12,1139 \text{ meter.}$$

Dari kedua perhitungan diatas, didapatkan lebar bidang datar yang berbeda. Untuk mendapatkan lebar bidang datar yang paling optimal, selanjutnya akan dianalisa ukuran lebar bidang datar yang memberikan nilai stabilitas paling tinggi dan memerlukan jumlah material yang paling sedikit.

Unit		Damage (D) in Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarystone (smooth)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarystone (rough)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.55 ²
Tetrapods & Quadripods	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17 ³	1.24 ³	1.32 ³	1.41 ³	1.50 ³
Trilbur	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25 ³	1.36 ³	1.50 ³	1.59 ³	1.64 ³
Bolos	$H/H_{D=0}$	1.00	1.10	1.14 ³	1.17 ³	1.20 ³	1.24 ³	1.27 ³

Tabel 4.5. $H/H_{D=0}$ Sebagai Fungsi Cover Layer Damage dari Setiap Armour Unit
(SPM. Vol. 2, 1984)

Tabel 4.6. Layer Coeffecient dan Porositas Untuk Berbagai Type Armour (SPM.
Vol. 2, 1984)

Armour Unit	N	Peletakan	K_s	P%	Referensi
Quarraystone	2	Acak	1,02	38	Hudson (1974)
Quarraystone	2	Acak	1,00	37	Carver (1983)
Quarraystone	> 3	Acak	1,00	40	Hudson (1961a)
Quarraystone	2	Spesial	-	27	-
Cube	2	Acak	1,10	47	Hudson (1974)
Tatrapod	2	Acak	1,04	50	Hudson (1974)
Quadripod	2	Acak	0,95	49	Hudson (1974)
Hexipod	2	Acak	1,15	47	Hudson (1974)
Tribar	2	Acak	1,02	54	Hudson (1974)
Dolos	2	Acak	0,94	56	Carver & Davidson (1977)
Toskane	2	Acak	1,03	52	Carver (1978)
Tribar	2	Uniform	1,13	47	Hudson (1974)
Quarraystone	Grade	Acak	-	37	-

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement ⁴	Structure Trunk		Structure Head		Slope
			K _D ²		K _D		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Smooth rounded	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped ⁷	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	6.0	6.0	1.5
					4.6	5.5	2.0
					3.6	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	16.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	----	5.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarystone (K _{DP})							
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Tabel 4.7. Penentuan Nilai K_D untuk Pemilihan Berat Armour Unit (SPM, Vol. 2, 1984)

IV.2.7. PERHITUNGAN KETEBALAN LAPISAN DAN JUMLAH BUTIR

- **Perhitungan Ketebalan Lapisan Utama**

Untuk menentukan ketebalan lapis pelindung struktur *detached breakwater* digunakan pers. 2.6 (Triatmodjo, 1999) :

$$t = n.K_{\Delta}\left(\frac{W_r}{W}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Dengan :

n = Jumlah lapisan batu dalam lapis pelindung, diambil 3

K_{Δ} = Koefesien ketebalan lapisan batuan, dari tabel 4.6 didapatkan 0,94

W = Berat satuan batu pelapis, 145 kg

W_r = Berat jenis batu pelapis, 2200 kg/m³

Kemudian didapatkan :

$$t = 3,0,94\left(\frac{145}{2200}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t = (2,82).(0,40)$$

$$t = 1,15$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa tebal lapisan pelindung untuk konstruksi *detached breakwater* diambil 1,15 meter.

- **Perhitungan Jumlah Butir Beton**

Untuk memperkirakan jumlah butir beton yang dibutuhkan pada setiap satuan luasan tertentu dapat dipergunakan rumus pendekatan seperti pada pers. 2.6

$$N = A.n.K_{\Delta}\left(1 - \frac{P}{100}\right)\left(\frac{W_r}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

(Triatmodjo, 1999).

Dengan :

A = Luas permukaan, diambil 10 m²

P = Porositas rerata dari lapis pelindung, dari tabel 4.6 diketahui untuk dolos =56 %

n = Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung, $n = 3$

K_{Δ} = Koefesien ketebalan lapisan batuan, dari tabel 4.6 diketahui $K_{\Delta} = 0,94$

Didapatkan :

$$N = (10).(3).(0,94)(1 - \frac{56}{100})(\frac{2200}{145})^2$$

$$N = (28,2).(0,44).(6,13)$$

$$N = 76,06104$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan jumlah butir beton yang diperlukan untuk setiap luas permukaan 10 m² lapis pelindung adalah : 76 butir.

IV.2.8. PERHITUNGAN ENERGI YANG DISERAP BREAKWATER

Setelah berbagai dimensi perencanaan struktur breakwater diketahui, maka perhitungan besarnya energi yang dapat diserap oleh breakwater dapat ditentukan. Dari perhitungan sebelumnya diketahui :

- $H_1 = 1,75$ meter
- $L_0 = 47,19$ meter
- $\text{Cotg } \theta = 2$

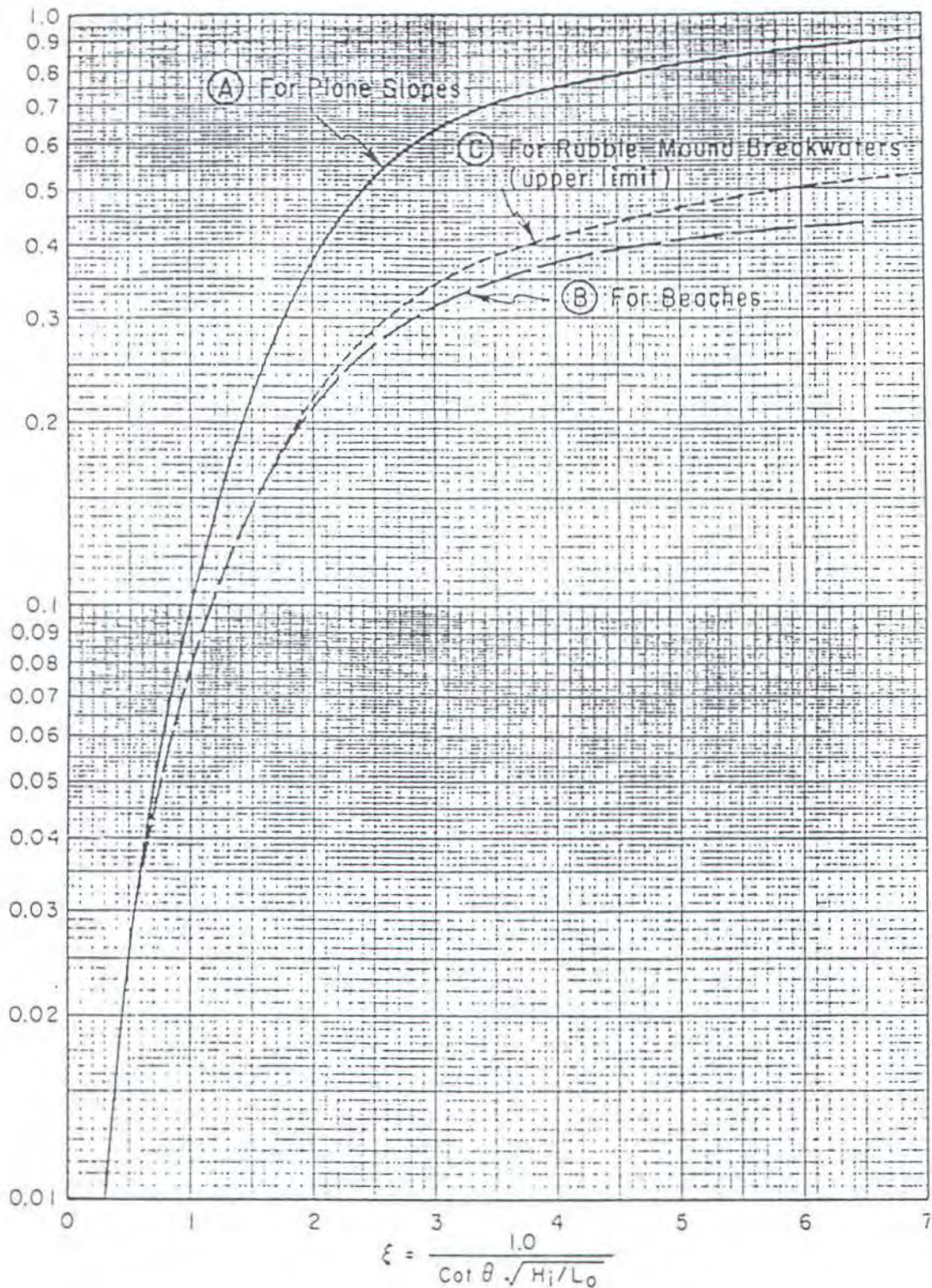
Dengan menggunakan pers. 2.7 (CERC, SPM. Vol. 1, 1984), diperoleh :

$$\xi = \frac{1,0}{\text{Cotg}(\theta) \sqrt{L_0}}$$

$$\xi = \frac{1,0}{2 \sqrt{47,19}} = \frac{1,0}{(2).(0,193)}$$

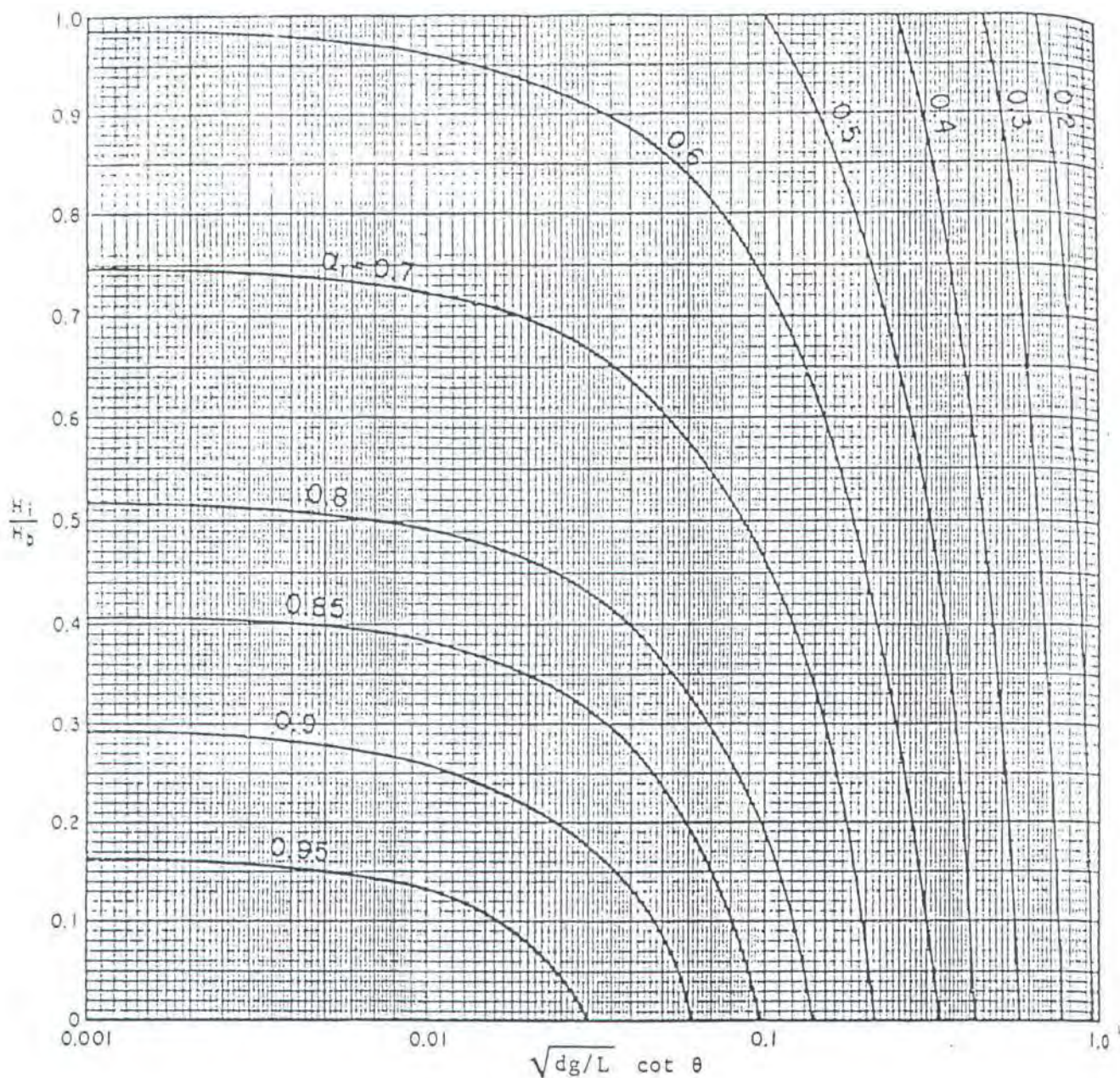
$$\xi = 2,59$$

Pada gambar 4.7 untuk nilai $\xi = 2,59$ pada *rubble mound breakwaters* didapatkan nilai $\chi = 0,3$. Konstruksi detached breakwater merupakan konstruksi pelindung pantai dengan struktur armour pada bagian luarnya sehingga proses penyerapan dan pengurangan energi gelombang yang datang dapat dioptimalkan. Untuk mendapatkan koefisien refleksi yang sesungguhnya, maka diperlukan beberapa koreksi. Faktor koreksi yang pertama (a_1) adalah faktor koreksi sebagai akibat adanya pengaruh gelombang pecah pada bagian toe seperti yang terlihat pada gambar 4.8. Faktor koreksi yang kedua (a_2) adalah faktor koreksi sebagai akibat adanya pengaruh perbandingan besarnya armour dengan tinggi gelombang dan jumlah lapisan armour, seperti yang terlihat pada tabel 4.8.



Gambar 4.7. Koefesien Refleksi Gelombang untuk slopes, beaches dan rubble-mound Breakwater (CERC, SPM, Vol.1, 1984).





Gambar 4.8. Faktor Koreksi Sebagai Akibat Adanya Gelombang Pecah (CERC, SPM, Vol.1, 1984)

Tabel 4.8. Faktor Koreksi Lapisan Armour Unit

Dg/Hi	n (jumlah lapis)			
	1	2	3	4
< 0,75	1,00	0,93	0,88	0,78
0,75 S/D 2,0	1,00	0,71	0,70	0,69
> 2,0	1,00	0,58	0,52	0,49

Perhitungan koefisien tak berdimensi :

$$\sqrt{\frac{d_g}{L}} \cdot \cot \Theta = \sqrt{\frac{1}{47,19}} (2) = 0,291$$

$$\frac{H_s}{H_b} = \frac{2,75}{2,1275} = 0,822$$

Dari gambar 4.8, didapatkan $\alpha_1 = 0,59$

$$\frac{d_g}{H_i} = \frac{1}{1,75} = 0,572$$

Dari tabel 4.5, dengan nilai $d_g/H_i < 0,75$ dan nilai $n = 3$ didapatkan $\alpha_2 = 0,88$.

Besarnya koefisien refleksi setelah mengalami koreksi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \chi &= (\alpha_1) \cdot (\alpha_2) \cdot (0,3) \\ &= (0,59) \cdot (0,88) \cdot (0,3) \\ &= 0,15576 \text{ atau } 15,576 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa sebanyak 84,424 % energi yang datang harus dapat diserap oleh struktur breakwater.

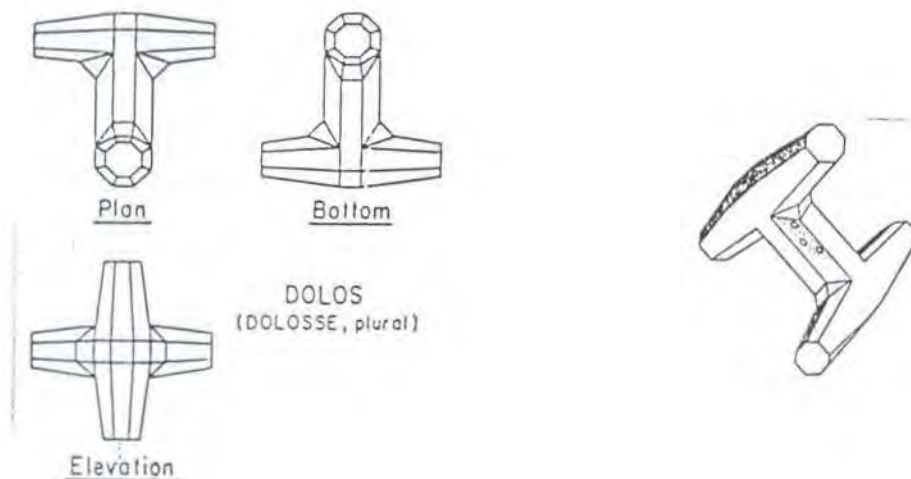
IV.2.9. ANALISA PEMILIHAN MATERIAL PENYUSUN

Jenis dan bentuk batuan pelindung yang akan digunakan dalam pembuatan konstruksi breakwater harus dipilih dengan mempertimbangkan berbagai faktor. Pemilihan harus dilakukan seteliti mungkin karena material penyusun mempunyai peranan yang sangat penting, yaitu selain sebagai material pembentuk struktur sekaligus juga akan mempengaruhi tingkat stabilitas struktur terhadap hempasan gelombang. Oleh karena itu, sebagai material penyusun pada konstruksi *detached breakwater* di Pantai Selabih digunakan material penyusun yang berbentuk dolos. Dari penelitian yang dilakukan di *Danish Engineering Academy, Aalborg University* diketahui bahwa struktur batu pelindung yang berbentuk dolos memiliki nilai stabilitas

yang lebih baik dibandingkan dengan batu alam dan kubus. Selain itu, struktur dolos juga mempunyai sensitivitas yang lebih rendah terhadap *over-loading* (Brorsen, 1978). Adapun pertimbangan-pertimbangan lain yang dapat diambil dalam penentuan dan pemilihan material konstruksi (de Quin, 1976) adalah :

- Analisa biaya dari bahan-bahan yang diperlukan
- Ketersediaan bahan di lokasi konstruksi
- Kemudahan akses dan pembangunan ke lokasi
- Ketersediaan peralatan
- Kelengkapan sarana dan pra-sarana penunjang
- Tenaga kerja yang tersedia

Dengan memperhatikan berbagai faktor diatas, terlihat bahwa pemilihan material penyusun berbentuk dolos merupakan alternatif terbaik. Dari perhitungan sebelumnya juga diketahui bahwa berat satuan material yang diperlukan adalah 145 kg, yang tentunya akan mengalami kesulitan untuk mencari batu alam seberat ini dan memiliki bentuk yang *uniform*.

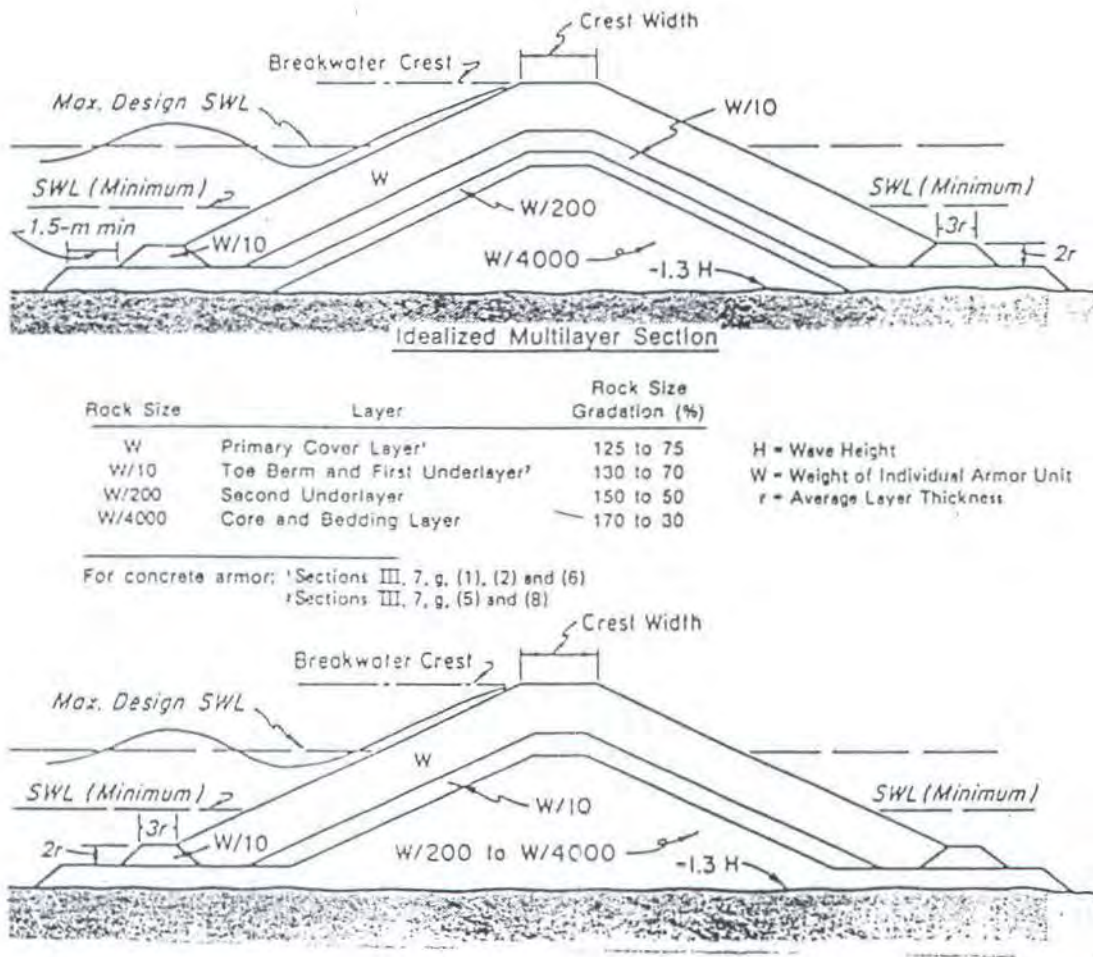


Gambar 4.9. Dolos (Novak & Narayanan, 1996)

Dolos adalah batu pelindung yang direncanakan khusus agar supaya dapat terjadi saling ikat antar batu pelindung yang baik (*interlocking*). Jenis batu pelindung ini dikembangkan di Afrika Selatan. Salah satu kelemahan dolos adalah nilai K_d yang cukup besar sehingga ada kemungkinan timbulnya kerusakan pada saat operasional,

seperti longsor ke bawah, patahnya atau rusaknya konstruksi dolos dan lain-lain (Nur Yuwono, 1992).

Rencana penampang breakwater secara tegak lurus didasarkan pada Fig.7-117 SPM. Vol. 2, 1984 dengan mengambil rencana breakwater tiga lapis pada kondisi *overtopping*.

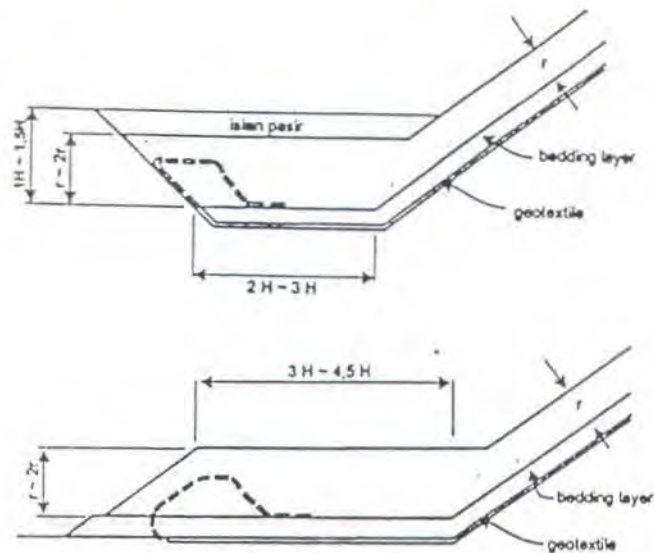


Gambar 4.10. Penampang Breakwater Untuk Kondisi Gelombang Dua Sisi dan Over-topping (CERC, SPM. Vol. 1, 1984)

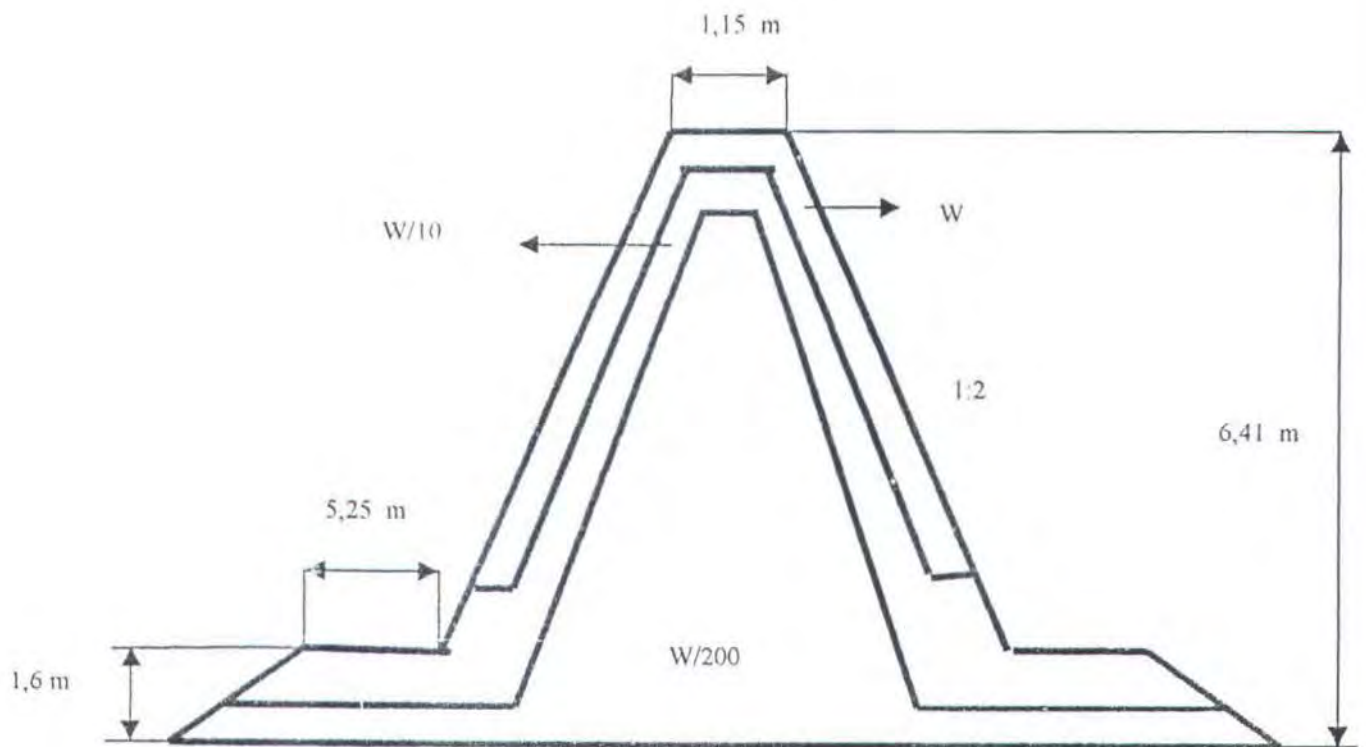
IV.2.10. PERENCANAAN TOE PROTECTION

Konstruksi *detached breakwater* harus dibangun sedemikian rupa sehingga cukup stabil terhadap bahaya erosi yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, erosi di

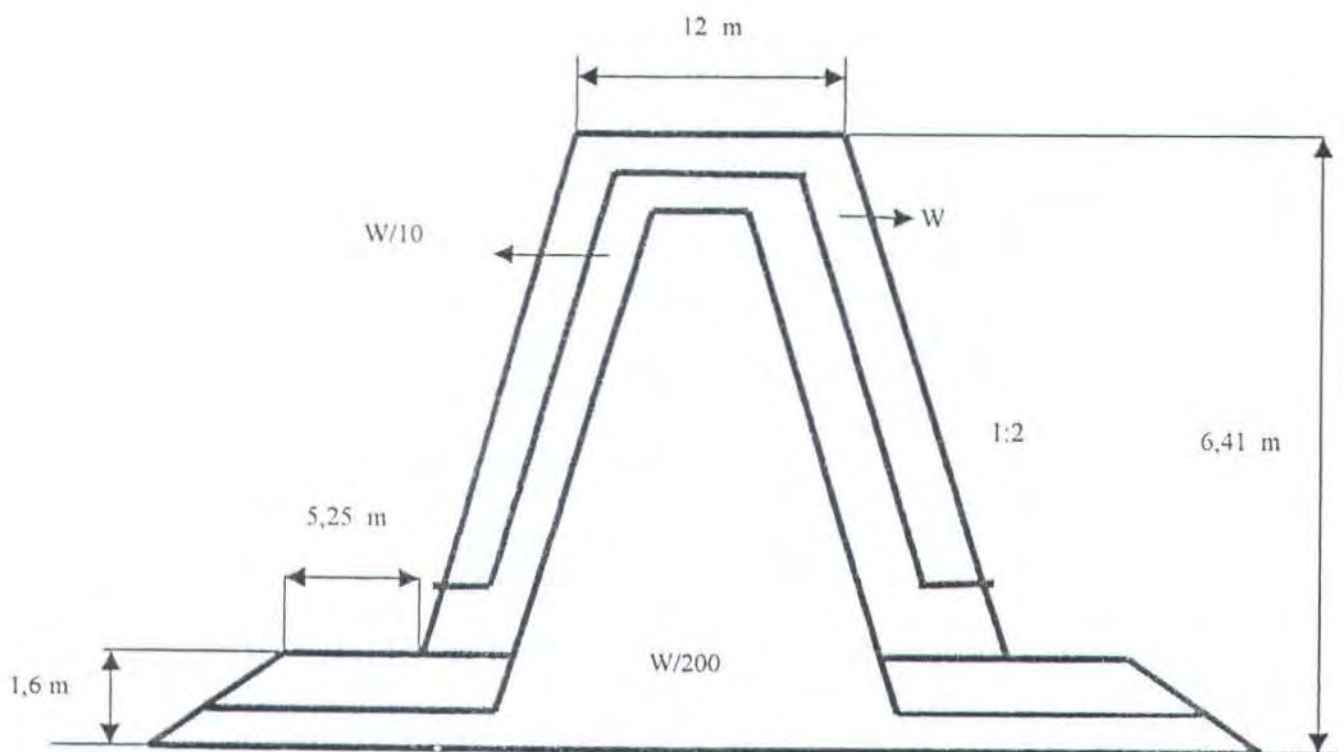
ujung kaki pemecah gelombang harus diatasi dengan konstruksi khusus (Triatmodjo,1999). Pemakaian geotextile dalam konstruksi ini sangat dianjurkan, karena pemakaian filter sukar dijamin kualitas pelaksanaannya. Tumpukan batu juga sering digunakan sebagai pelindung kaki bangunan pantai dan biasanya ditempatkan di bagian depan dengan maksud untuk melindungi tanah pondasi terhadap kemungkinan penggerusan akibat gelombang. Stabilitas konstruksi sangat tergantung pada kemampuan pondasi terhadap erosi yang ditimbulkan oleh serangan gelombang-gelombang besar. Gelombang rencana yang digunakan untuk menghitung berat batu pondasi dan pelindung kaki sama dengan yang dipergunakan untuk perencanaan bangunannya. Perhitungan berat batu pelindung kaki dapat dilihat di *Lampiran D*.



Gambar 4.11. Pelindung Kaki Bangunan (Triatmodjo, 1999)



Gambar 4.12. Penampang Breakwater Alternatif A (Non-Scale)



Gambar 4.13. Penampang Breakwater Alternatif B (Non-Scale)

IV.3. ANALISA STABILITAS DAN SETTLEMENT

• ANALISA STABILITAS BREAKWATER

Setelah semua ukuran dan dimensi breakwater diketahui, maka langkah selanjutnya adalah memastikan apakah konstruksi yang akan dibangun cukup stabil dalam artian mampu menahan semua gaya-gaya lingkungan yang akan bekerja secara bersamaan dan mampu bertahan terhadap kemungkinan terjadi kegagalan lereng (*slides failure*).

Untuk mengetahui apakah struktur breakwater memiliki kestabilan yang cukup, maka ditentukan bahwa nilai SF (faktor keamanan) tidak boleh kurang dari 1,25 (Kramadibrata, 1985). Dengan memakai program *STABLE*, maka diketahui faktor keamanan dari masing-masing alternatif struktur breakwater. Data input dalam program *STABLE* adalah titik-titik terluar geometri struktur dengan memperhatikan tinggi muka air dan karakteristik tanah (pondasi). Listing program dan out-put lengkap dapat di lihat di *Lampiran A*.

Untuk mendapatkan alternatif struktur dengan faktor keamanan terbesar, berikut ini disusun dalam bentuk tabel nilai SF untuk setiap alternatif struktur.

Tabel 4.9. Variasi Nilai SF Untuk setiap Alternatif Breakwater

NO	SF (A)	SF (B)
1	1,448	1,444
2	1,448	1,697
3	1,491	1,830
4	1,497	2,346
5	1,498	2,362
6	1,518	2,369
7	1,539	2,385
8	1,597	2,428
9	1,612	2,435
10	1,640	2,973

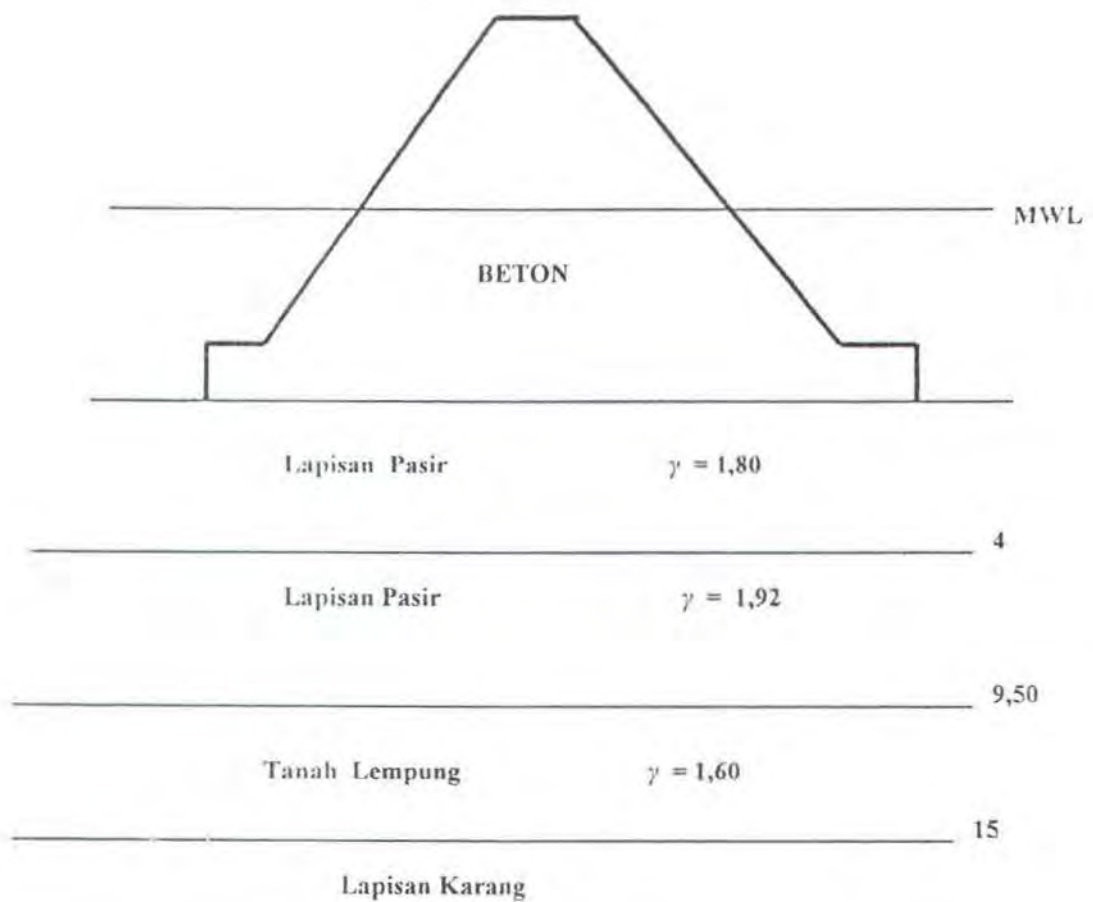
Dari tabel di atas, ditarik suatu kesimpulan bahwa jenis breakwater yang dipilih adalah konstruksi breakwater alternatif A. Pemilihan alternatif ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Nilai SF alternatif A yang terkecil adalah 1,448 sedangkan nilai SF terkecil alternatif B adalah 1,444. Dengan demikian dapat ditentukan bahwa konstruksi breakwater A lebih stabil dibandingkan dengan konstruksi breakwater B.
2. Penampang melintang konstruksi breakwater B lebih besar dibandingkan dengan konstruksi alternatif A. Ini berarti bahwa pembangunan konstruksi breakwater B membutuhkan jumlah material yang lebih banyak dibandingkan dengan pembangunan konstruksi breakwater A. Selain itu, pembangunan konstruksi breakwater alternatif B juga relatif menimbulkan persoalan yang lebih banyak, seperti : bahaya *settlement*, longsor, dan lain-lain.

• ANALISA SETTLEMENT BREAKWATER

Setelah didapatkan dimensi dan konstruksi breakwater yang memberikan kestabilan terbesar, maka selanjutnya perlu diadakan analisa dan perhitungan terhadap pengaruh penurunan (*settlement*) dan besarnya *settlement* yang terjadi. Besarnya penurunan yang terjadi pada suatu struktur tergantung pada besar dan ukuran dimensi konstruksi serta kekuatan dan karakteristik tanah dibawahnya. Dari sekian banyak jenis *settlement* yang terjadi pada suatu konstruksi, jenis *settlement consolidation* (penurunan konsolidasi) merupakan jenis penurunan yang paling penting dan signifikan. Hal ini disebabkan karena lapisan tanah dibawah konstruksi breakwater sebagian besar merupakan lapisan tanah pasir, sehingga penurunan segera (*immediate settlement*) akan terjadi dengan segera dan dapat tidak diperhitungkan karena sangat kecil pengaruhnya.

Dengan berdasarkan informasi yang diperoleh dari Kanwil PU BALI, diketahui bahwa kondisi tanah di lokasi terbagi atas beberapa lapis dan lapisan paling dasar merupakan lapisan batu karang dan cadas yang keras (\pm pada kedalaman 15 meter). Penggambaran lapisan tanah di lokasi, dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.14. Pembagian Lapisan Tanah (γ dalam ton/m^3)

Dengan berdasarkan pada pembagian lapisan tanah seperti gambar di atas, maka kemudian ditentukan besarnya *void ratio* (e_o), indeks pemampatan (C_e), tegangan efektif tanah mula-mula (P_o) serta besarnya tegangan tanah setelah adanya pembebanan (P) untuk masing-masing lapisan tanah.

Besarnya indeks pemampatan untuk setiap jenis tanah diatas, diambil dari tabel berikut.

Tabel 4.10. Nilai C_c Untuk Berbagai Jenis Tanah (Soedarmo, 1997)

MACAM TANAH	NILAI C_c
GAMBUS	1,00 SAMPAI 4,50
LEMPUNG PLASTIS	0,15 SAMPAI 1,00
LEMPUNG KAKU	0,06 SAMPAI 0,15
LEMPUNG SETENGAH KERAS	0,03 SAMPAI 0,06
PASIR LEPAS	0,025 SAMPAI 0,05
PASIR PADAT	0,0005 SAMPAI 0,01

Hubungan *void ratio* (e_0) dengan indeks pemampatan (C_c) untuk tanah lempung dapat dituliskan sebagai berikut : $C_c = 0,30 \cdot (e_0 - 0,27)$ sedangkan untuk tanah pasir berlaku : $C_c = 0,75 (e_0 - 0,50)$. Dari kedua hubungan diatas maka didapatkan karakteristik tanah sebagai berikut :

- Untuk tanah pasir :
 - $C_c = 0,025$
 - $e_0 = 0,53$
- Untuk lempung :
 - $C_c = 0,15$
 - $e_0 = 0,77$

Batuan pelindung yang dipakai pada konstruksi breakwater di Pantai Selabih adalah struktur beton berbentuk dolos dengan berat jenis 2200 kg/m^3 . Setelah disusun menjadi bentuk konstruksi yang diinginkan, maka struktur beton tersebut akan mempunyai sifat permeabilitas yang dinyatakan dalam bentuk perkiraan rongga. Adapun besarnya perkiraan rongga yang akan terjadi adalah 25 %. Oleh sebab itu, berat jenis beton akan berubah.

- Besarnya perkiraan rongga = 25 %
- Berat jenis beton = $(100\% - 25\%) \times (2200 \text{ kg/m}^3)$
= 1650 kg/m^3

Tekanan yang ditimbulkan oleh tumpukan beton dapat dicari sebagai berikut :

- ♦ Tekanan yang diakibatkan tumpukan batu di atas air,
$$P = (\text{Berat jenis beton}) \times (\text{ketinggian dari MWL})$$
$$= (1650 \text{ kg/m}^3) \times (3,75 \text{ m})$$
$$= 6187,5 \text{ kg/m}^2$$
- ♦ Untuk tumpukan batu yang tenggelam,
$$P = (1650 - 1000) \times (2,66 \text{ meter})$$
$$= 1729 \text{ kg/m}^2$$
- ♦ Tekanan yang ditimbulkan oleh air,
$$P = (\text{berat jenis air}) \times (\text{ketinggian air dari sea bed})$$
$$= (1000 \text{ kg/m}^3) \times (2,66 \text{ meter})$$
$$= 2660 \text{ kg/m}^2$$
- ♦ Tekanan total
$$= (6187,5 + 1729 + 2660)$$
$$= 10576,5 \text{ kg/m}^2$$
$$= 10,5765 \text{ ton/m}^2$$

Tekanan tanah yang diakibatkan oleh konstruksi merupakan tekanan tumpukan beton dijumlahkan dengan tekanan yang diakibatkan oleh lapisan tanah di atasnya. Setelah data-data di atas ditentukan, maka besarnya settlement yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

1. Besarnya penurunan yang terjadi pada pasir A

Besarnya tegangan efektif awal (P_o):

$$P_o = (1,8 - 1) \text{ ton/m}^3 \times (2 \text{ meter})$$
$$= 1,6 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta p \quad \text{Tegangan tambahan} = 10,5765 \text{ ton/m}^2$$

Perhitungan besarnya settlement pada lapisan pasir A :

$$\Delta H_1 = C_c \cdot \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$
$$\Delta H_1 = 0,025 \cdot \frac{4}{1+0,53} \log \frac{1,60+10,5765}{1,6}$$
$$\Delta H_1 = 0,0576$$

2. Besarnya penurunan yang terjadi pada pasir B

Besarnya tegangan efektif awal (P_0)

$$\begin{aligned}P_0 &= (1,8 - 1) \cdot 4 \text{ meter} + (1,92 - 1) \cdot 2,75 \text{ meter} \\&= (3,2 + 2,53) \text{ ton/m}^2 \\&= 5,73 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta p = 10,5765 \text{ ton/m}^2$$

Perhitungan besarnya *settlement* pada lapisan pasir B :

$$\begin{aligned}\Delta H_2 &= Cc \cdot \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \\ \Delta H_2 &= 0,025 \cdot \frac{5,5}{1+0,53} \log \frac{5,73+10,5765}{5,73} \\ \Delta H_2 &= 0,041\end{aligned}$$

3. Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan lempung

Besarnya tegangan efektif awal (P_0) :

$$\begin{aligned}P_0 &= (1,8 - 1) \times 4 \text{ meter} + (1,92 - 1) \times 5,5 \text{ meter} + (1,60 - 1) \times (2,75 \text{ meter}) \\&= (0,8 \times 4) + (0,92 \times 5,5) + (0,60 \times 2,75) \text{ ton/m}^2 \\&= 9,965 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta p = \text{Tambahan tekanan akibat konstruksi} = 10,5765 \text{ ton/m}^2$$

Perhitungan besarnya *settlement* pada lapisan lempung :

$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= Cc \cdot \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \\ \Delta H_3 &= 0,15 \cdot \frac{5,5}{1+0,77} \log \frac{9,965+10,5765}{9,965} \\ \Delta H_3 &= 0,146\end{aligned}$$

Besarnya *settlement* total yang akan terjadi pada struktur, adalah :

$$\begin{aligned}&= \Delta (H_1 + H_2 + H_3) \\&= (0,0576 + 0,041 + 0,146) \text{ meter} \\&= 0,2446 \text{ meter.}\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah mengetahui sampai berapa lama konsolidasi *settlement* akan berlangsung, dengan menggunakan rumus berikut :

$$T_v = \frac{C_v t}{H_v^2}$$

Dengan :

$$T_v = 0,684 \text{ untuk } U = 85\%$$

C_v = Koefesien konsolidasi = $2,5 \text{ m}^2/\text{tahun}$ (harga rata-rata untuk tanah di Indonesia)

H_t = Panjang aliran drainage, karena aliran diasumsikan hanya terjadi dalam arah vertikal, maka besarnya $H_t = 1/2.H$.

Maka,

$$0,684 = \frac{(2,5) \cdot t}{7,5^2}$$

$$t_{85} = (0,684) \cdot (56,25) / 2,5$$

$$t_{85} = 15,4125$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa penurunan konsolidasi sebesar 0,2446 meter akan terjadi dalam waktu 15 tahun. Setelah tanah di bawah konstruksi mampu mencapai kesetimbangan tekanan pori maka laju settlement dapat diabaikan. Karena terjadi settlement sebesar 0,2445 meter, maka ketinggian atau elevasi konstruksi breakwater harus ditambah 0,2446 meter sehingga ketinggian yang optimal tetap tercapai.

IV.5. PERENCANAAN CAMPURAN ADUKAN BETON

Beton (*concrete*) merupakan suatu campuran antara air, semen, dan agregat mineral, yang menyebabkan terjadinya suatu hubungan yang erat antara bahan-bahan pembentuk tersebut (Surbakti, 1995). Untuk mendapatkan campuran beton dengan kekuatan karakteristik yang diharapkan, maka komposisi material penyusun beton harus ditentukan dengan memakai aturan yang berlaku.

- **PCAB Dengan Metode DOE**

Sebelum merencanakan campuran beton, terlebih dahulu harus ditetapkan ketentuan-ketentuan campuran beton yang akan dibuat. Pada pembuatan campuran beton untuk konstruksi bangunan laut, ditentukan hal-hal sebagai berikut :

- Penentuan kekuatan tekan karakteristik.

Untuk pembuatan struktur bangunan laut ditetapkan bahwa kekuatan tekan karakteristik yang diambil berkisar antara 20 -30 MPa (Mehta, 1991). Pada kasus ini, kuat tekan karakteristik ditentukan sebesar 254 kg/cm^2 untuk umur 28 hari dengan jumlah yang mungkin cacat sebesar 5 %.

- Pemilihan jenis semen yang akan dipakai.

Untuk lingkungan laut, type semen yang cocok digunakan menurut ACI 357R-84 adalah semen dengan kandungan C_3A minimal 4 % dan maksimal 10 % untuk mendapatkan ketahanan yang tinggi terhadap serangan sulfat (Raka, 1999). Semen dengan bahan tambahan *fly ash* dengan prosentase tertentu dan kehalusan memenuhi syarat sangat membantu, karena beton yang dibuat dengan bahan ini dapat menurunkan permeabilitasnya. Semen type I dan semen type II pada prinsipnya dapat dipakai. Namun, lebih direkomendasikan apabila kehalusan semennya diatas $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ Blaine. Pada kasus ini, digunakan semen portland normal type I

- Penentuan tinggi slump.

Tinggi slump disyaratkan 45 mm (30-60 mm)

- Penentuan ukuran agregat maksimum.

Pasir, kerikil alam atau batu pecah secara umum dapat dipakai asal memenuhi syarat kebersihan. Hal yang perlu dicermati adalah menyangkut bentuk, kualitas permukaan, ukuran, komposisi mineraloginya, agar tidak terjadi micro crack antara zona agregat dan spesi (zona transisi), juga kemungkinan adanya dilatasi diantara agregat dan spesi. Pada kasus ini, ditetapkan ukuran besar butir maksimum 30 mm.

- Penentuan faktor air semen minimum (FAS min).

Menurut ACI 357-84 R (Raka, 1999), ditetapkan bahwa untuk bangunan di lingkungan laut FAS min dipilih 0,45.

- Penentuan kadar semen minimum.

Menurut FIP-1985 R, kadar semen minimum ditetapkan sebesar 320 kg/m^2 (Raka, 1999)

- Dari hasil analisa ayakan didapatkan :

- Persentase pasir : 45 %
- Persentase kerikil : 55 %

- Adapun karakteristik dari masing-masing agregat, ditentukan sebagai berikut :

- ♦ Pasir :

- Berat jenis (SSD) : $2,56 \text{ ton/m}^3$

- Kelembaban : 6 %
- Resapan : 4 %
- ♦ Kerikil :
 - Berat jenis (SSD) : 2,62 ton/m³
 - Kelembaban : 1 %
 - Resapan : 2 %

Selanjutnya dibuatkan suatu daftar isian dengan urutan pengerjaan sebagai berikut (Surbakti, 1995) :

1. Kuat tekan karakteristik sudah ditetapkan sebesar 254 kg/cm²
2. Standard deviasi diketahui dari besarnya jumlah (volume) pembebanan yang akan dibuat, dalam hal ini diambil nilai $S = 65 \text{ kg/cm}^2$ atau tanpa data, $k = 1,64$
3. Nilai tambah (margin), hasil kali S dengan k .
$$= (65) \times (1,64) = 106,6 \text{ kg/cm}^2$$
4. Kekuatan rata-rata yang hendak dicapai, penjumlahan poin 1 dengan poin 2.
$$= (254 + 106,6) \text{ kg/cm}^2 = 360,6 \text{ kg/cm}^2$$
5. Jenis semen yang dipakai, Type I.
6. Jenis agregat :
 - Agregat halus : pasir
 - Agregat kasar : Kerikil.
7. Faktor air semen bebas.

Dari tabel 1 diketahui untuk agregat kasar batu pecah (kerikil) dan semen tipe 1, kekuatan tekan umur 28 hari yang diharapkan dengan faktor air semen 0,45 adalah 450 kg/cm² atau 45 N/mm². Harga ini dipakai untuk membuat kurva yang harus diikuti menurut gambar 1 pada *Lampiran E* dalam usaha untuk mencari faktor air semen untuk beton yang dirancang, dengan cara sebagai berikut :

Dari titik kekuatan tekan 45 N/mm² (450 kg/cm²) tarik garis datar hingga memotong garis tengah yang menunjukkan kurva yang berbentuk kira-kira sama dengan kurva di sebelah atas dan di sebelah bawahnya (garis putus). Kemudian dari titik kekuatan tekan beton yang dirancang (dalam hal ini 360 kg/cm²) tarik garis mendatar hingga memotong kurva garis putus-putus tadi. Dari titik potong ini, tarik



garis tegak ke bawah hingga memotong sumbu X (absis) dan baca faktor air semen yang diperoleh, dalam kasus ini didapatkan 0,58.

8. Karena faktor air semen yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan harga yang ditetapkan, maka untuk perhitungan selanjutnya diambil nilai faktor air semen yang terkecil, yaitu 0,45.
9. Nilai slump, ditetapkan berkisar antara 30-60 mm.
10. Ukuran agregat maksimum, ditetapkan sebesar 30 mm.
11. Kadar air bebas : untuk mendapatkan nilai kadar air bebas, periksalah tabel 1 pada *Lampiran E* yang dibuat untuk agregat gabungan alami atau yang berupa batu pecah. Untuk agregat gabungan yang berupa campuran antara pasir alami dan kerikil (batu pecah), maka kadar air bebas diperhitungkan antara 160-190 kg/m³ (nilai slump 30-60 mm dan baris ukuran agregat 30 mm). Digunakan rumus pendekatan :
$$\begin{aligned} &= 2/3 (\text{jumlah air utk agregat halus}) + 1/3 (\text{jumlah air untuk agregat kasar}) \\ &= 2/3 (160) + 1/3 (190) \\ &= 170 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
12. Kadar semen yang digunakan, yaitu:
$$\begin{aligned} &= (\text{kadar air bebas} / \text{faktor air semen}) \\ &= (170/0,45) \\ &= 378 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
13. Kadar semen maksimum, tidak ditentukan (dapat diabaikan)
14. Kadar semen minimum, ditetapkan 320 kg/m³. Karena kadar semen yang didapatkan dari hasil perhitungan lebih besar dari kadar semen minimum yang disyaratkan, ini berarti perencanaan sudah benar.
15. Faktor air semen yang disesuaikan, dalam hal ini dapat diabaikan karena syarat minimum kadar semen sudah terpenuhi.
16. Susunan besar butir agregat halus, ditetapkan termasuk daerah susunan butir (zone) 2.
17. Prosentase bahan yang lebih halus dari 4,8 mm. Untuk agregat halus (pasir) yang termasuk dalam zone 2 diperoleh harga antara 30 % - 37,5 %. Dalam perhitungan selanjutnya diambil nilai rata-rata sehingga didapatkan prosentase bahan yang lebih halus dari 4,8 mm adalah 35 %.

18. Berat jenis relatif agregat (kering permukaan), merupakan berat jenis agregat gabungan. Perhitungan berat jenis relatif adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= 45 \% (\text{berat jenis pasir}) + 55 \% (\text{berat jenis kerikil}) \\ &= 45\% (2,50) + 55\% (2,60) \\ &= (1,125) + (1,43) \\ &= 2,56 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Berat jenis beton, diperoleh dari gambar 2 (*Lampiran E*) dengan cara membuat grafik baru yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu : 2,56 kg/m³. Titik potong grafik baru tadi dengan garis tegak lurus yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini 170 kg/m³), akan menunjukkan nilai berat jenis beton yang dirancang yaitu diperoleh angka 2,325 kg/m³.

20. Kadar agregat gabungan, adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air.

$$\begin{aligned} &= (2325) - (378) - (170) \\ &= 1777 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

21. Kadar agregat halus, merupakan hasil kali kadar agregat gabungan dengan persentase material halus.

$$\begin{aligned} &= (1777 \text{ kg/m}^3) \times (45\%) \\ &= 799,65 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

22. Kadar agregat kasar, didapatkan dari pengurangan kadar agregat gabungan oleh kadar agregat halus.

$$\begin{aligned} &= (1777 \text{ kg/m}^3) - (799,65 \text{ kg/m}^3) \\ &= 977,35 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dari semua perhitungan diatas, didapatkan jumlah material yang diperlukan untuk membuat 1 m³ campuran beton, yaitu :

- Semen : 378 kg
- Air : 170 kg
- Agregat halus : 799,65 kg
- Agregat kasar : 977,35 kg.

Campuran adukan beton yang didapatkan dari perhitungan di atas merupakan komposisi campuran beton secara teoritis. Untuk mendapatkan campuran beton yang

sebenarnya harus diperhitungkan kandungan air pada masing-masing agregat untuk mendapatkan komposisi air yang ideal.

- Jumlah air yang terdapat pada pasir :

$$= (6 - 4) \times 799,65/100$$

$$= 15,993 \text{ kg}$$

- Jumlah air yang dibutuhkan oleh kerikil :

$$= (2 - 1) \times 977,35/100$$

$$= 9,7735 \text{ kg}$$

Jadi susunan campuran beton akhir, adalah :

- Semen = 378 kg
- Air = $(170 - 15,993 + 9,7735) \text{ kg} = 163,7805 \text{ kg}$
- Agregat Halus (pasir) = $(799,65 + 15,993) \text{ kg} = 815,643 \text{ kg}$
- Agregat Kasar (kerikil) = $(977,35 - 9,7735) \text{ kg} = 967,5765 \text{ kg}$

• PCAB DENGAN METODE ACI

Salah satu tujuan yang hendak dicapai dalam merencanakan campuran beton dengan memakai metode ACI adalah untuk menghasilkan campuran beton yang mudah dikerjakan (Nawy, 1990). Tingkat kemudahan pengerjaan beton dan ukuran derajat kekentalan (konsistensi) dinyatakan dalam satuan *slump*.

Dalam merencanakan campuran beton dengan metode ACI, urutan dan langkah pengerjaannya seperti tampak pada gambar 2.7. Sebelum merencanakan campuran beton, perlu ditetapkan data-data terlebih dahulu, yaitu :

- Kekuatan yang direncanakan sebesar 5000 psi atau 34,5 Mpa.
- Ukuran maksimum agregat ditetapkan 3/4 inci atau 18 mm
- Modulus kehalusan pasir ditetapkan sebesar 2,6
- Berat kering agregat yang dipakai adalah 100 lb/ft^3
- Absorpsi uap air diketahui : sebesar 3% untuk agregat kasar dan 2% untuk agregat halus.

Adapun langkah-langkah dalam pengerjaan campuran beton seperti yang telah dijelaskan pada gambar 2.7, adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besarnya nilai *slump* dari tabel 1 (*Lampiran F*), diketahui besarnya nilai *slump* adalah 3 (dinding penahan dan pondasi).
2. Ukuran agregat maksimum ditetapkan dari data, yaitu 3/4 inchi.
3. Dari tabel 2 (*Lampiran F*) diketahui bahwa untuk nilai *slump* berkisar antara 3 dan 4 inchi dan ukuran agregat maksimum 3/4 inchi didapatkan berat air yang diperlukan untuk setiap yard^3 beton, yaitu 340 lb/yd^3 .
4. Untuk kekuatan tekan yang diminta ($f_c' = 5000 \text{ psi}$), dari tabel 3 (*Lampiran F*) didapatkan faktor air semen 0,48.

Tabel ini juga diperlukan jika yang digunakan dalam hitungan desain campuran bukan berdasarkan berat, melainkan berdasarkan volume. Dengan demikian dapat ditentukan jumlah semen yang diperlukan untuk setiap satu yard^3 beton, yaitu :

$$= 340/0,48$$

$$= 708,333 \text{ lb/yard}^3$$

5. Dengan menggunakan data modulus kehalusan pasir sebesar 2,6 dan tabel 4 (*Lampiran F*), maka volume agregat kasar diketahui sebesar $0,64 \text{ yard}^3$.
6. Dengan menggunakan berat kering agregat kasar 100 lb/ft^3 , maka berat agregat kasar dapat dicari :

$$= (0,64 \text{ yard}^3) \times (27 \text{ ft}^3/\text{yard}^3) \times (100 \text{ lb/ft}^3)$$

$$= 1728 \text{ lb untuk setiap } 1 \text{ yard}^3 \text{ beton}$$

Berat estimasi beton segar untuk agregat kasar berukuran maksimum 3/4 inchi, dari tabel 5 (*Lampiran F*) diketahui sebesar 3960 lb/yard^3 .

7. Perhitungan berat pasir, adalah sebagai berikut :
$$= \{(\text{berat beton segar} - \text{berat (air + semen + agregat)})\}$$
$$= \{(3960 - (340 + 708,33 + 1728))\}$$
$$= 1183,67 \text{ lb.}$$

8. Perhitungan berat netto yang dipakai :

- Berat netto pasir (absorpsi uap air 2%)

$$= (1,02) \times (1183,67 \text{ lb})$$

$$= 1207,34 \text{ lb}$$

- Berat netto kerikil (absorpsi 3%)

$$= (1,03) \times (1728 \text{ lb})$$

$$= 1779,84 \text{ lb.}$$

- Berat air netto

$$\begin{aligned} & (340) - (0,02 \times 1183,67) - (0,03 \times 1728) \\ &= 340 - 23,70 - 51,84 \\ &= 264,46 \text{ lb.} \end{aligned}$$

Dari semua perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan 1 yard³ beton dibutuhkan :

- Semen = 708,33 lb (322,30 kg)
- Pasir = 1207,34 lb (549,40 kg)
- Kerikil = 1779,84 lb (809,8272 kg)
- Air = 264,46 lb (120,30 kg)

Setelah mengadakan pencampuran beton dengan menggunakan dua metode, yaitu : DoE dan ACI dapat disimpulkan bahwa komposisi dari masing-masing material penyusun beton adalah tidak sama. Hal ini disebabkan karena selain metode yang dipakai berbeda juga karena jenis dan karakteristik material yang digunakan tidak sama, meskipun demikian kedua metode pencampuran beton diatas adalah valid untuk digunakan. Meski demikian, dalam praktek di lapangan perlu ada beberapa pertimbangan yang dipakai untuk memilih metode yang sesuai untuk mendapatkan hasil yang optimal, yaitu :

1. Kekuatan tekan karakteristik struktur beton yang direncanakan.
2. Jenis, ukuran dan spesifikasi material yang tersedia.
3. Waktu pengerjaan yang tersedia.
4. Orientasi peraturan beton yang dipakai.

BAB V

PENUTUP

BAB V

PENTUTUP

V.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa perencanaan dan perhitungan dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Karakteristik dan kriteria desain konstruksi detached breakwater yang akan dibangun di Pantai Selabih adalah :
 - Perencanaan tata letak/*lay-out design*
 - Konstruksi *detached breakwater* diletakkan pada kedalaman ± 2 meter dengan jarak relatif dari garis pantai sebesar 31,115 meter. Panjang total breakwater yang direncanakan 715 meter untuk melindungi garis pantai sepanjang $\pm 1,8$ kilometer dan jarak antar gap didapatkan 100 meter. Dari analisa yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan besarnya indeks respon pantai (IRP) 2,5, dengan demikian dibelakang konstruksi breakwater akan terbentuk tombolo periodik yang merupakan awal mekanisme perlindungan pantai.
 - Jenis atau tipe breakwater yang direncanakan adalah tipe *over-topping* dengan rencana ketinggian awal atau elevasi sebesar 6,41 diukur dari dasar laut (*bottom*).
 - Berat batu pelindung pada lapisan utama direncanakan 145 kg dengan tebal 1,15 meter sedangkan berat batu pelindung pada kedua lapisan lainnya dicari dengan patokan berat batu pelindung pada lapisan utama, didapatkan :
 - Berat batu pelindung lapisan pendukung 14,5 kg dengan tebal lapisan 1 meter.
 - Berat batu pelindung pada lapisan inti sebesar 0,725 kg.
 - Jumlah lapisan breakwater adalah tiga lapis dan jumlah lapis batuan pada lapisan utama juga tiga lapis, dengan jumlah butir beton yang dibutuhkan pada setian 1 meter persegi adalah 76 butir.

- Lebar bidang datar (lebar mercu) breakwater direncanakan 1,15 meter (alternatif A), dengan mempertimbangkan faktor ekonomis dan stabilitas.
2. Setelah dilakukan analisa dan perbandingan, didapatkan bahwa alternatif A yang paling memenuhi syarat stabilitas
- Nilai SF (safety factor) untuk alternatif A adalah 1,448 ($>SF_{rencana}$) dan lebih besar dibandingkan dengan nilai SF untuk alternatif B.
 - Pemilihan terhadap alternatif A juga didasarkan pada pertimbangan biaya. Dengan penggunaan material yang lebih sedikit (dimensi lebih kecil), maka alternatif A memerlukan biaya yang lebih sedikit.
3. Dari hasil analisa *settlement*, didapatkan bahwa besarnya *settlement* yang terjadi pada konstruksi adalah 0,2445 meter dengan perkiraan waktu untuk mencapai besar *settlement* di atas adalah 15 tahun. Tindakan antisipasi yang diterapkan adalah dengan menaikkan ketinggian breakwater rencana sehingga fungsi operasional struktur breakwater tetap optimal. Apabila dalam kegiatan konstruksi di lapangan ditemui kasus *settlement* yang cukup besar, maka dapat diambil beberapa tindakan untuk perbaikan tanah (*soil improvement*) Untuk mengatasi permasalahan yang diakibatkan keberadaan tanah lunak, dapat ditempuh beberapa metode untuk mengatasinya, yaitu :
- Menambah kerapatan tanah
 - Mengganti tanah-tanah yang buruk
 - Penggunaan metode *soil improvement* seperti : pemadatan/*compaction*.
 - Dan lain-lain
4. Komposisi material penyusun beton yang didapatkan dengan menggunakan metode DoE dan ACI, adalah :
- PCAB Metode DoE
- Untuk membuat 1 m³ beton, direncanakan campuran sebagai berikut :
- Semen : 378 kg
 - Air : 163,7805 kg
 - Agregat kasar : 967,5765 kg
 - Agregat halus : 815,643 kg

- PCAB Metode ACI

Untuk membuat 1 yard³, direncanakan campuran sebagai berikut :

- Semen : 708,33 lb (322,30 kg)
- Pasir : 1207,34 lb (549,40 kg)
- Kerikil : 1779,84 lb (8272 kg)
- Air : 264,46 lb (120,30 kg)

V.2. SARAN

Dengan memperhatikan semua tahap yang telah dilakukan dalam melakukan analisa perencanaan konstruksi *detached breakwater*, maka ada beberapa saran yang perlu diperhatikan :

1. Dalam perencanaan konstruksi breakwater sebagai pelindung Pantai Selabih harus diperhatikan juga unsur estetika, karena daerah pantai yang dilindungi termasuk daerah wisata maka desain yang diambil sedapat mungkin tidak mengurangi keindahan dan keasrian lingkungan setempat.
2. Kegiatan monitoring secara teratur dan kontinyu harus dilakukan untuk mendeteksi kemungkinan kerusakan sedini mungkin, sehingga tindakan reparasi/perbaikan dapat segera diambil dan pengeluaran biaya yang lebih besar dapat dihindari.
3. Dengan banyaknya tersedia rumus/metode untuk perencanaan *detached/nearshore breakwater* maka sangat mungkin akan ditemui banyak perbedaan dalam hasil akhir yang didapatkan. Semua sumber dan referensi untuk perencanaan *detached breakwater* adalah valid dan dapat digunakan, namun hasil akhir desain dan perencanaan akan kembali tergantung kepada perencana itu sendiri yang selanjutnya menentukan skala prioritas yang sesuai untuk mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Broersen, M and H. F. Burchart. 1974. " Stability Of Dolos Slope." **Proceedings, 14th Coastal Engineering Conference**, Copenhagen, June, pp 1691-1762.
- De Quin, Alfonso. 1976. **Design And Construction Of Ports & Marine Structure**. New York : Mc. Graw Hill Book Company.
- Das, M. Braja. 1993. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2**, Jakarta : PT Erlangga.
- Ehrlich, L. A., and F. H. Kulhawy. 1982. **Breakwaters, Jetties and Groins : A Design Guide**. New York, Ithace : Cornell University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. **Mekanika Tanah 1**. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Horikawa, Kiyoshi. 1978. **Coastal Engineering, An Introduction To Ocean Engineering**. New York : A Halsted Press John Wiley & Sons.
- Kramadibrata, S. 1985. **Perencanaan Pelabuhan**. Bandung : Ganeca Exact Bandung.
- Mehta, Kumar. 1991. **Concrete in the Marine Environment**. London : Elsevier Applied Science.
- Nawy, Edward. 1990. **Beton Bertulang, Sebuah Pendekatan Dasar**. Bandung : PT Eresco.
- Novak, P, and R. Narayanan. 1996. **Hydraulic Structures 2nd Edition**. London : E & FN Spon.
- Nur Yuwono. 1992. **Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume 2**. Yogyakarta : Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil FT-UGM.
- Pilarczyk, W. P. 1990. **Coastal Protection**. Rotterdam : AA Balkema.
- Pratikto, W. A. 1996. **Perencanaan Fasilitas Pantai Dan Laut**. Yogyakarta : BPFE.
- Raka, I Gusti Putu. 1999. **Konstruksi Beton di Lingkungan Laut**. Surabaya : Pidato Pengukuhan Guru Besar ITS.

- Sosrodarsono, Suyono dan K. Nakazawa. 1990. **Mekanika Tanah & Teknik Pondasi**. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Soedarmo, Djatmiko. 1997. **Mekanika Tanah Jilid 1**. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Silvester, Richard. 1974. **Coastal Engineering Vol. 1**. New York : Elcheiver Scientific Publishing.
- Sorensen, R. M. 1978. **Basic Coastal Engineering**. New York : John Wiley & Son.
- Surbakti, Aman. 1995. **Teknologi Beton**. Surabaya : Penerbit ITS.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. **Teknik Pantai**. Yogyakarta : Beta Offset.
- U. S. Army. Corp. Engineers. 1984. **Shore Protection Manual Vol. 1 & 2**. Mississippi : Coastal Engineering Research Center.
- U. S. Army. Corps. Engineers. 1992. **Dimensional Analysis of Detached Breakwaters**. Mississippi : CERC.
- Wilby, G. E. 1991. **Concrete : Materials & Practice**. Melbourne : Hodder & Stoughton.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A1

Program Perhitungan Panjang Gelombang

C Program Perhitungan Panjang Dan Cepat Rambat Gelombang

```
CHARACTER NAMA1*10
DIMENSION D(10)
OPEN (9,FILE = 'GEDHE.OUT')
DATA D(1),D(2)/30.,5./
G = 9,81
E = 2,718281828
PI = 3,141592654
I = 0
T = 10
N = 2
DO 10 J =1,N
  AL0 = 1,56*T**2
  AL2 =AL0
2  AL1 = G*T**2TANH(2.*PI*D(J)/(AL2))/(2.*PI)
  I = I +1
  WRITE (9,5)I,AL1
  IF (ABS(AL1 - AL2).LE.0.01) GOTO 3
  AL2 = (AL1 +AL2)/2
  GOTO 2
3  C = AL1/T
  WRITE(9,6)I,AL1,C
  I = 0
10 CONTINUE
5  FORMAT (3x,I4,F9.2)
6  FORMAT(3X,I4,2F9.2)
STOP
END
```


LAMPIRAN A2

Program Perhitungan Stabilitas Breakwater

PROFIL

BREAKWATER (ALTERNATIF A)

11 6

0. 19. 10. 19. 2

10. 15. 11.15 16.6 1

11.15 16.6 16.4 16.6 1

16.4 16.6 18.95 21.41 1

18.95 21.41 20.1 21.41 1

20.1 21.41 22.65 16.6 1

22.65 16.64 27.9 16.6 1

27.9 16.64 29.05 15. 2

29.05 15. 39.05 15. 2

0. 11. 38.05 11. 3

0. 5.5 39.05 5.5 4

SOIL

4

2.2 2.2 0. 45. 0. 0. 1

1.8 1.8 0. 30. 0. 0. 2

1.92 1.92 0. 30. 0. 0. 3

1.6 1.6 1.2 0. 0. 0. 4

WATER

1 1.025

2

0. 19.

39.05 19.

CIRCLE

5 5

0. 10. 18.95 20.1

0. 1. 0. 0.

--SLOPE STABILITY ANALYSIS--
SIMPLIFIED JANBU METHOD OF SLICES
IRREGULAR FAILURE SURFACES

PROBLEM DESCRIPTION BREAKWATER (ALTERNATIF A)

BOUNDARY COORDINATES

6 TOP BOUNDARIES
11 TOTAL BOUNDARIES

TYPE	BOUNDARY	X-LEFT	Y-LEFT	X-RIGHT	Y-RIGHT	SOIL
	NO.	(FT)	(FT)	(FT)	(FT)	
BELOW BND						
	1	.00	15.00	10.00	15.00	
2	2	10.00	15.00	11.15	16.60	
1	3	11.15	16.60	16.40	16.60	
1	4	16.40	16.60	18.95	21.41	
1	5	18.95	21.41	20.10	21.41	
1	6	20.10	21.41	22.65	16.60	
1	7	22.65	16.64	27.90	16.60	
2	8	27.90	16.64	29.05	15.00	
2	9	29.05	15.00	39.05	15.00	
3	10	.00	11.00	38.05	11.00	
4	11	.00	5.50	39.05	5.50	
1	ISOTROPIC SOIL PARAMETERS					

4 TYPE(S) OF SOIL

SOIL	TOTAL	SATURATED	COHESION	FRICTION	PORE
PRESSURE	PIEZOMETRIC				
CONSTANT	TYPE UNIT WT.	UNIT WT.	INTERCEPT	ANGLE	PRESSURE
(PSF)	SURFACE				
	NO. (PCF)	(PCF)	(PSF)	(DEG)	PARAMETER
	NO.				

	1	2.2	2.2	.0	45.0	.00
.0	1					
	2	1.8	1.8	.0	30.0	.00
.0	2					
	3	1.9	1.9	.0	30.0	.00
.0	3					
	4	1.6	1.6	1.2	.0	.00
.0	4					

1 1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

UNITWEIGHT OF WATER = 1.02

PIEZOMETRIC SURFACE NO. 1 SPECIFIED BY 2 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-WATER (FT)	Y-WATER (FT)
1	.00	19.00
2	39.05	19.00

1 A CRITICAL FAILURE SURFACE SEARCHING METHOD, USING A RANDOM
TECHNIQUE FOR GENERATING CIRCULAR SURFACES, HAS BEEN
SPECIFIED.

25 TRIAL SURFACES HAVE BEEN GENERATED.

5 SURFACES INITIATE FROM EACH OF 5 POINTS EQUALLY SPACED
ALONG THE GROUND SURFACE BETWEEN X = .00 FT.
AND X = 10.00 FT.

EACH SURFACE TERMINATES BETWEEN X = 18.95 FT.
AND X = 20.10 FT.

ELEVATION UNLESS FURTHER LIMITATIONS WERE IMPOSED, THE MINIMUM
AT WHICH A SURFACE EXTENDS IS Y = .00 FT.

1.00 FT. LINE SEGMENTS DEFINE EACH TRIAL FAILURE SURFACE.

1 FOLLOWING ARE DISPLAYED THE TEN MOST CRITICAL OF THE TRIAL
FAILURE SURFACES EXAMINED. THEY ARE ORDERED - MOST CRITICAL
FIRST.

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 18 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.43	14.64
3	9.40	14.38
4	10.39	14.23
5	11.39	14.19
6	12.38	14.27
7	13.37	14.45
8	14.32	14.74
9	15.24	15.14
10	16.11	15.63
11	16.92	16.22
12	17.66	16.89
13	18.32	17.64
14	18.89	18.46
15	19.37	19.34
16	19.75	20.27
17	20.02	21.23
18	20.05	21.41

*** 1.448 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 18 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.43	14.64
3	9.40	14.38
4	10.39	14.22
5	11.38	14.18
6	12.38	14.25
7	13.37	14.43
8	14.32	14.72
9	15.24	15.11
10	16.11	15.60
11	16.93	16.19
12	17.67	16.86
13	18.33	17.61
14	18.91	18.43
15	19.39	19.30
16	19.77	20.23
17	20.05	21.19
18	20.09	21.41

*** 1.448 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 21 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.86	14.49
3	6.77	14.08
4	7.72	13.76
5	8.69	13.53
6	9.69	13.41
7	10.69	13.39
8	11.68	13.47
9	12.67	13.65
10	13.63	13.93
11	14.55	14.31
12	15.44	14.77
13	16.27	15.33
14	17.04	15.97
15	17.74	16.68
16	18.37	17.46
17	18.91	18.30
18	19.37	19.19
19	19.73	20.12
20	20.00	21.08
21	20.05	21.41

*** 1.491 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 20 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.87	14.51
3	6.79	14.11
4	7.74	13.81
5	8.72	13.61
6	9.72	13.51
7	10.72	13.51
8	11.71	13.62
9	12.69	13.82
10	13.64	14.13
11	14.56	14.53
12	15.43	15.02
13	16.25	15.60
14	17.00	16.26
15	17.68	16.99
16	18.28	17.79
17	18.80	18.65
18	19.23	19.55
19	19.56	20.49
20	19.78	21.41

1.497 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 18 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.39	14.54
3	9.33	14.20
4	10.30	13.97
5	11.30	13.86
6	12.30	13.86
7	13.29	13.99
8	14.26	14.24
9	15.19	14.60
10	16.07	15.07
11	16.89	15.65
12	17.63	16.32
13	18.29	17.07
14	18.85	17.90
15	19.31	18.78
16	19.66	19.72
17	19.89	20.69
18	19.98	21.41

*** 1.498 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 18 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.38	14.52
3	9.30	14.14
4	10.27	13.89
5	11.26	13.76
6	12.26	13.75
7	13.26	13.87
8	14.23	14.11
9	15.16	14.47
10	16.04	14.95
11	16.85	15.53
12	17.59	16.20
13	18.24	16.96
14	18.78	17.80
15	19.22	18.70
16	19.54	19.65
17	19.75	20.63
18	19.81	21.41

*** 1.518 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 18 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.36	14.49
3	9.28	14.10
4	10.24	13.82
5	11.23	13.67
6	12.23	13.65
7	13.23	13.75
8	14.20	13.98
9	15.14	14.33
10	16.02	14.79
11	16.84	15.37
12	17.58	16.04
13	18.23	16.80
14	18.77	17.64
15	19.21	18.54
16	19.53	19.49
17	19.72	20.47
18	19.79	21.41

*** 1.539 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 21 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.80	14.41
3	6.67	13.91
4	7.59	13.51
5	8.55	13.22
6	9.53	13.05
7	10.53	12.99
8	11.53	13.04
9	12.51	13.20
10	13.48	13.48
11	14.40	13.87
12	15.27	14.36
13	16.08	14.95
14	16.82	15.62
15	17.47	16.38
16	18.04	17.20
17	18.50	18.09
18	18.86	19.02
19	19.11	19.99
20	19.25	20.98
21	19.26	21.41

*** 1.597 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 22 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.76	14.35
3	6.59	13.79
4	7.47	13.32
5	8.40	12.96
6	9.37	12.70
7	10.36	12.56
8	11.36	12.52
9	12.36	12.60
10	13.34	12.79
11	14.29	13.09
12	15.21	13.50
13	16.07	14.00
14	16.87	14.60
15	17.60	15.29
16	18.24	16.05
17	18.80	16.88
18	19.26	17.77
19	19.62	18.71
20	19.86	19.67
21	20.00	20.66
22	20.02	21.41

*** 1.612 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 20 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.83	14.44
3	6.72	13.98
4	7.65	13.63
5	8.62	13.38
6	9.61	13.25
7	10.61	13.23
8	11.61	13.33
9	12.59	13.53
10	13.53	13.86
11	14.44	14.28
12	15.29	14.81
13	16.07	15.43
14	16.78	16.14
15	17.40	16.92
16	17.93	17.77
17	18.35	18.68
18	18.67	19.62
19	18.88	20.60
20	18.96	21.41

*** 1.640 ***

□

PROFIL

BREAKWATER (ALTERNATIF B)

11 6

0. 15. 10. 15. 2

10. 15. 11.15 16.6 1

11.15 16.6 16.4 16.6 1

16.4 16.6 18.95 21.41 1

18.95 21.41 40.95 21.41 1

40.95 21.41 43.5 16.6 1

43.5 16.64 48.75 16.6 1

48.75 16.64 49.9 15. 2

49.9 15. 59.9 15. 2

0. 11. 59.9 11. 3

0. 5.5 59.9 5.5 4

SOIL

4

2.2 2.2 0. 45. 0. 0. 1

1.8 1.8 0. 30. 0. 0. 2

1.92 1.92 0. 30. 0. 0. 3

1.6 1.6 1.2 0. 0. 0. 4

WATER

1 1.025

2

0. 19.

59.9 19.

CIRCLE

5 5

0. 10. 18.95 40.95

0. 1. 0. 0.

1

--SLOPE STABILITY ANALYSIS--
SIMPLIFIED JANBU METHOD OF SLICES
IRREGULAR FAILURE SURFACES

PROBLEM DESCRIPTION BREAKWATER (ALTERNATIF B)

BOUNDARY COORDINATES

6 TOP BOUNDARIES
11 TOTAL BOUNDARIES

TYPE	BOUNDARY	X-LEFT	Y-LEFT	X-RIGHT	Y-RIGHT	SOIL
	NO.	(FT)	(FT)	(FT)	(FT)	
BELOW BND						
2	1	.00	15.00	10.00	15.00	
1	2	10.00	15.00	11.15	16.60	
1	3	11.15	16.60	16.40	16.60	
1	4	16.40	16.60	18.95	21.41	
1	5	18.95	21.41	40.95	21.41	
1	6	40.95	21.41	43.50	16.60	
1	7	43.50	16.64	48.75	16.60	
2	8	48.75	16.64	49.90	15.00	
2	9	49.90	15.00	59.90	15.00	
3	10	.00	11.00	59.90	11.00	
4	11	.00	5.50	59.90	5.50	
1	ISOTROPIC SOIL PARAMETERS					

4 TYPE(S) OF SOIL

SOIL	TOTAL	SATURATED	COHESION	FRICTION	PORE
PRESSURE	PIEZOMETRIC				
CONSTANT	TYPE UNIT WT.	UNIT WT.	INTERCEPT	ANGLE	PRESSURE
(PSF)	SURFACE				PARAMETER
	NO. (PCF)	(PCF)	(PSF)	(DEG)	
	NO.				

	1	2.2	2.2	.0	45.0	.00
.0	1					
	2	1.8	1.8	.0	30.0	.00
.0	2					
	3	1.9	1.9	.0	30.0	.00
.0	3					
	4	1.6	1.6	1.2	.0	.00
.0	4					
1	1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED					

UNITWEIGHT OF WATER = 1.02

PIEZOMETRIC SURFACE NO. 1 SPECIFIED BY 2 COORDINATE POINTS

	POINT NO.	X-WATER (FT)	Y-WATER (FT)
	1	.00	19.00
	2	59.90	19.00

1 A CRITICAL FAILURE SURFACE SEARCHING METHOD, USING A RANDOM
TECHNIQUE FOR GENERATING CIRCULAR SURFACES, HAS BEEN
SPECIFIED.

25 TRIAL SURFACES HAVE BEEN GENERATED.

5 SURFACES INITIATE FROM EACH OF 5 POINTS EQUALLY SPACED
ALONG THE GROUND SURFACE BETWEEN X = .00 FT.
AND X = 10.00 FT.

EACH SURFACE TERMINATES BETWEEN X = 18.95 FT.
AND X = 40.95 FT.

UNLESS FURTHER LIMITATIONS WERE IMPOSED, THE MINIMUM
ELEVATION AT WHICH A SURFACE EXTENDS IS Y = .00 FT.

1.00 FT. LINE SEGMENTS DEFINE EACH TRIAL FAILURE SURFACE.

1 FOLLOWING ARE DISPLAYED THE TEN MOST CRITICAL OF THE TRIAL
FAILURE SURFACES EXAMINED. THEY ARE ORDERED - MOST CRITICAL
FIRST.

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 21 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.93	14.63
3	6.88	14.33
4	7.86	14.12
5	8.85	13.98
6	9.85	13.93
7	10.85	13.96
8	11.84	14.08
9	12.82	14.27
10	13.79	14.54
11	14.72	14.90
12	15.63	15.32
13	16.49	15.83
14	17.31	16.40
15	18.08	17.03
16	18.80	17.73
17	19.46	18.48
18	20.05	19.29
19	20.57	20.14
20	21.03	21.03
21	21.18	21.41

1.444 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 25 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	2.50	15.00
2	3.26	14.35
3	4.08	13.77
4	4.94	13.27
5	5.85	12.86
6	6.79	12.52
7	7.76	12.27
8	8.75	12.12
9	9.75	12.05
10	10.75	12.08
11	11.74	12.19
12	12.72	12.40
13	13.68	12.69
14	14.60	13.07
15	15.49	13.54
16	16.33	14.08
17	17.11	14.70
18	17.84	15.38
19	18.50	16.13
20	19.09	16.94
21	19.61	17.80
22	20.04	18.70
23	20.39	19.63
24	20.66	20.60
25	20.80	21.41

*** 1.697 ***



1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 29 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	.00	15.00
2	.89	14.54
3	1.80	14.13
4	2.73	13.77
5	3.68	13.46
6	4.65	13.21
7	5.63	13.02
8	6.62	12.88
9	7.62	12.80
10	8.62	12.77
11	9.62	12.80
12	10.62	12.89
13	11.61	13.04
14	12.58	13.24
15	13.55	13.49
16	14.50	13.81
17	15.43	14.17
18	16.34	14.59
19	17.23	15.05
20	18.08	15.57
21	18.91	16.14
22	19.70	16.75
23	20.45	17.40
24	21.17	18.10
25	21.85	18.84
26	22.48	19.61
27	23.07	20.42
28	23.61	21.26
29	23.69	21.41

*** 1.830 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 26 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.23	14.32
3	9.03	13.71
4	9.87	13.17
5	10.76	12.71
6	11.68	12.34
7	12.64	12.04
8	13.62	11.84
9	14.61	11.73
10	15.61	11.70
11	16.61	11.77
12	17.60	11.92
13	18.57	12.16
14	19.51	12.49
15	20.42	12.91
16	21.29	13.40
17	22.11	13.97
18	22.88	14.61
19	23.59	15.32
20	24.23	16.09
21	24.79	16.91
22	25.28	17.79
23	25.69	18.70
24	26.02	19.64
25	26.26	20.61
26	26.38	21.41

*** 2.346 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 35 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	.00	15.00
2	.74	14.32
3	1.51	13.69
4	2.32	13.11
5	3.17	12.58
6	4.05	12.10
7	4.95	11.67
8	5.88	11.30
9	6.83	10.98
10	7.80	10.73
11	8.78	10.53
12	9.77	10.40
13	10.77	10.32
14	11.77	10.30
15	12.76	10.35
16	13.76	10.45
17	14.74	10.62
18	15.72	10.85
19	16.68	11.13
20	17.62	11.47
21	18.54	11.87
22	19.43	12.32
23	20.29	12.83
24	21.12	13.39
25	21.91	13.99
26	22.67	14.65
27	23.39	15.34
28	24.06	16.09
29	24.68	16.87
30	25.26	17.68
31	25.79	18.53
32	26.26	19.41
33	26.68	20.32
34	27.05	21.25
35	27.10	21.41

*** 2.362 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 21 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	10.00	15.00
2	10.86	14.49
3	11.76	14.06
4	12.71	13.73
5	13.68	13.50
6	14.67	13.38
7	15.67	13.35
8	16.67	13.43
9	17.65	13.61
10	18.61	13.89
11	19.54	14.26
12	20.42	14.73
13	21.25	15.29
14	22.02	15.93
15	22.72	16.64
16	23.34	17.43
17	23.88	18.27
18	24.33	19.16
19	24.68	20.10
20	24.94	21.06
21	25.00	21.41

*** 2.369 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 29 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	5.00	15.00
2	5.89	14.54
3	6.80	14.14
4	7.74	13.78
5	8.69	13.47
6	9.66	13.22
7	10.64	13.02
8	11.63	12.87
9	12.62	12.77
10	13.62	12.73
11	14.62	12.74
12	15.62	12.81
13	16.61	12.93
14	17.60	13.10
15	18.57	13.33
16	19.53	13.61
17	20.47	13.94
18	21.40	14.32
19	22.30	14.75
20	23.18	15.22
21	24.03	15.75
22	24.86	16.32
23	25.65	16.93
24	26.40	17.58
25	27.12	18.28
26	27.80	19.01
27	28.44	19.78
28	29.04	20.58
29	29.60	21.41

*** 2.385 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 21 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	10.00	15.00
2	10.99	14.88
3	11.99	14.81
4	12.99	14.79
5	13.99	14.82
6	14.99	14.90
7	15.98	15.03
8	16.96	15.21
9	17.94	15.44
10	18.90	15.72
11	19.84	16.05
12	20.77	16.42
13	21.68	16.84
14	22.56	17.30
15	23.42	17.81
16	24.26	18.37
17	25.06	18.96
18	25.84	19.59
19	26.58	20.26
20	27.28	20.97
21	27.68	21.41

*** 2.428 ***

1

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 27 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	7.50	15.00
2	8.24	14.32
3	9.03	13.71
4	9.87	13.17
5	10.75	12.70
6	11.67	12.31
7	12.62	12.01
8	13.60	11.78
9	14.59	11.64
10	15.59	11.59
11	16.59	11.63
12	17.58	11.75
13	18.56	11.95
14	19.52	12.24
15	20.44	12.62
16	21.34	13.07
17	22.19	13.59
18	22.99	14.19
19	23.73	14.86
20	24.42	15.59
21	25.04	16.37
22	25.59	17.20
23	26.07	18.08
24	26.47	19.00
25	26.78	19.95
26	27.02	20.92
27	27.09	21.41

*** 2.435 ***

FAILURE SURFACE SPECIFIED BY 39 COORDINATE POINTS

POINT NO.	X-SURF (FT)	Y-SURF (FT)
1	2.50	15.00
2	3.22	14.31
3	3.98	13.65
4	4.77	13.04
5	5.59	12.47
6	6.44	11.95
7	7.32	11.47
8	8.22	11.03
9	9.14	10.65
10	10.09	10.31
11	11.04	10.03
12	12.02	9.79
13	13.00	9.61
14	13.99	9.48
15	14.99	9.40
16	15.99	9.37
17	16.99	9.40
18	17.98	9.48
19	18.98	9.61
20	19.96	9.80
21	20.93	10.03
22	21.89	10.32
23	22.83	10.66
24	23.75	11.04
25	24.65	11.48
26	25.53	11.96
27	26.38	12.48
28	27.20	13.05
29	27.99	13.67
30	28.75	14.32
31	29.47	15.01
32	30.15	15.74
33	30.80	16.51
34	31.40	17.30
35	31.96	18.13
36	32.48	18.99
37	32.95	19.87
38	33.37	20.78
39	33.62	21.41

*** 2.973 ***

LAMPIRAN B

Grafik Perhitungan Difraksi

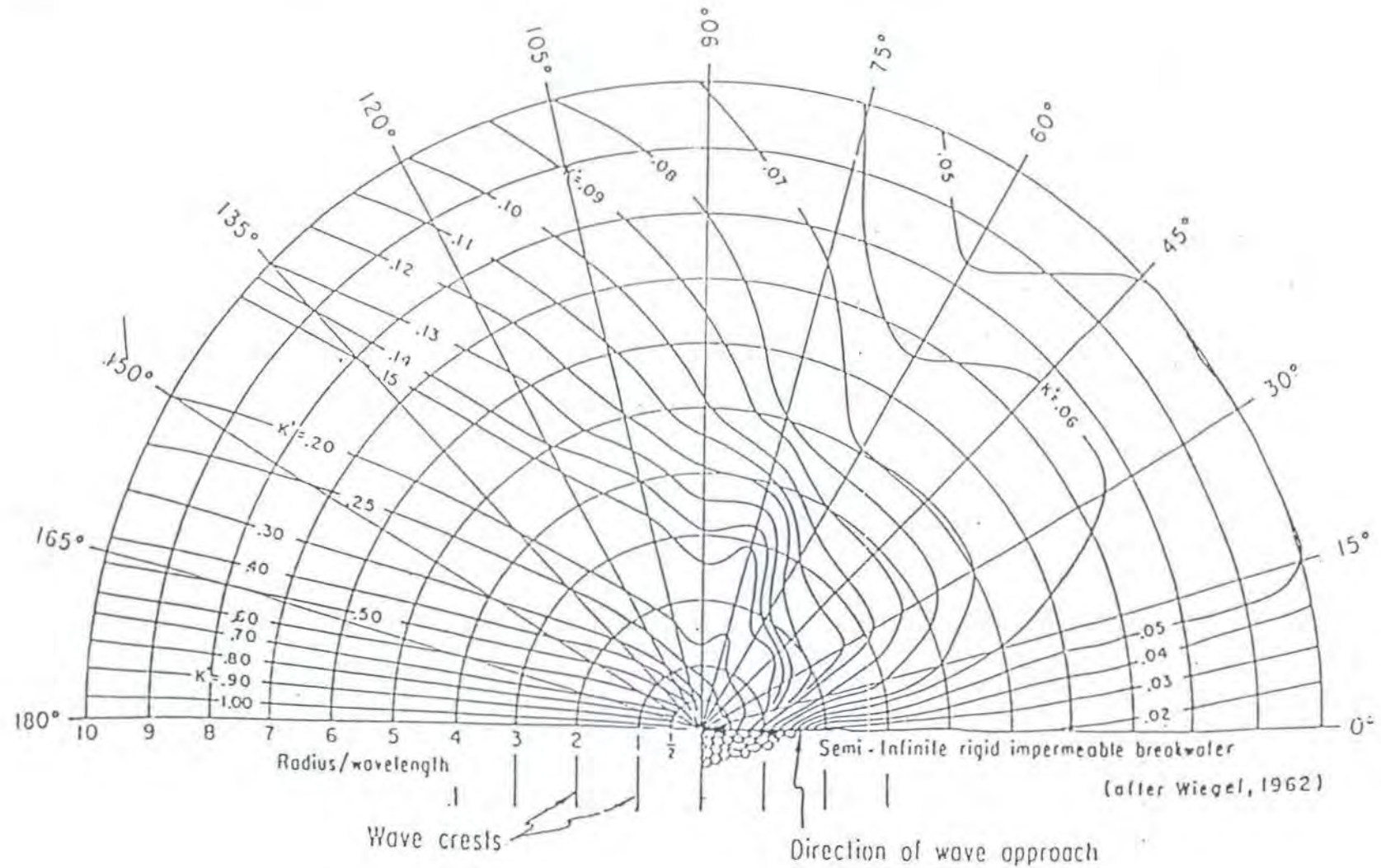


Figure 2-39. Wave diffraction diagram--180° wave angle.

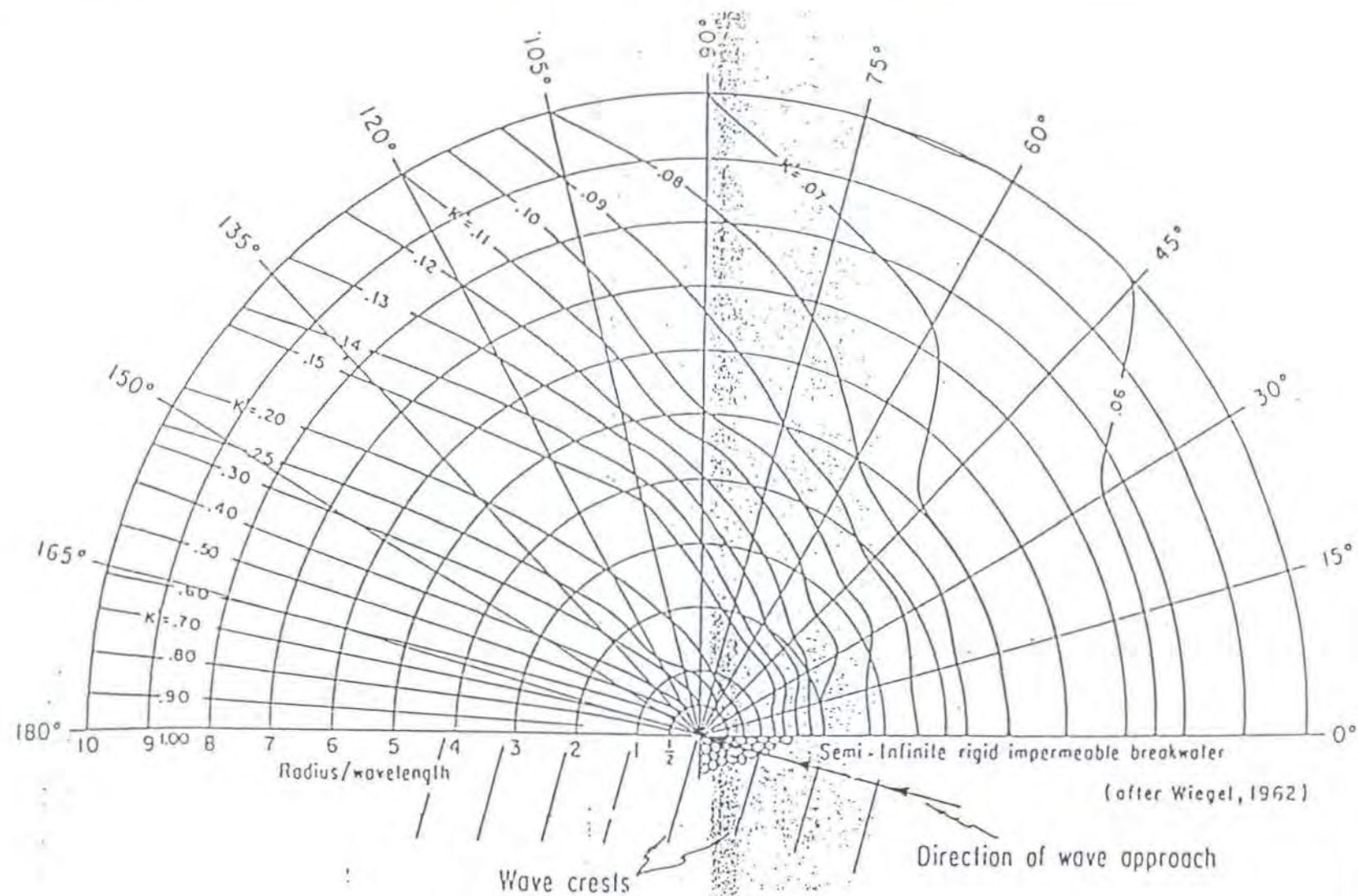


Figure 2-38. Wave diffraction diagram--165° wave angle.

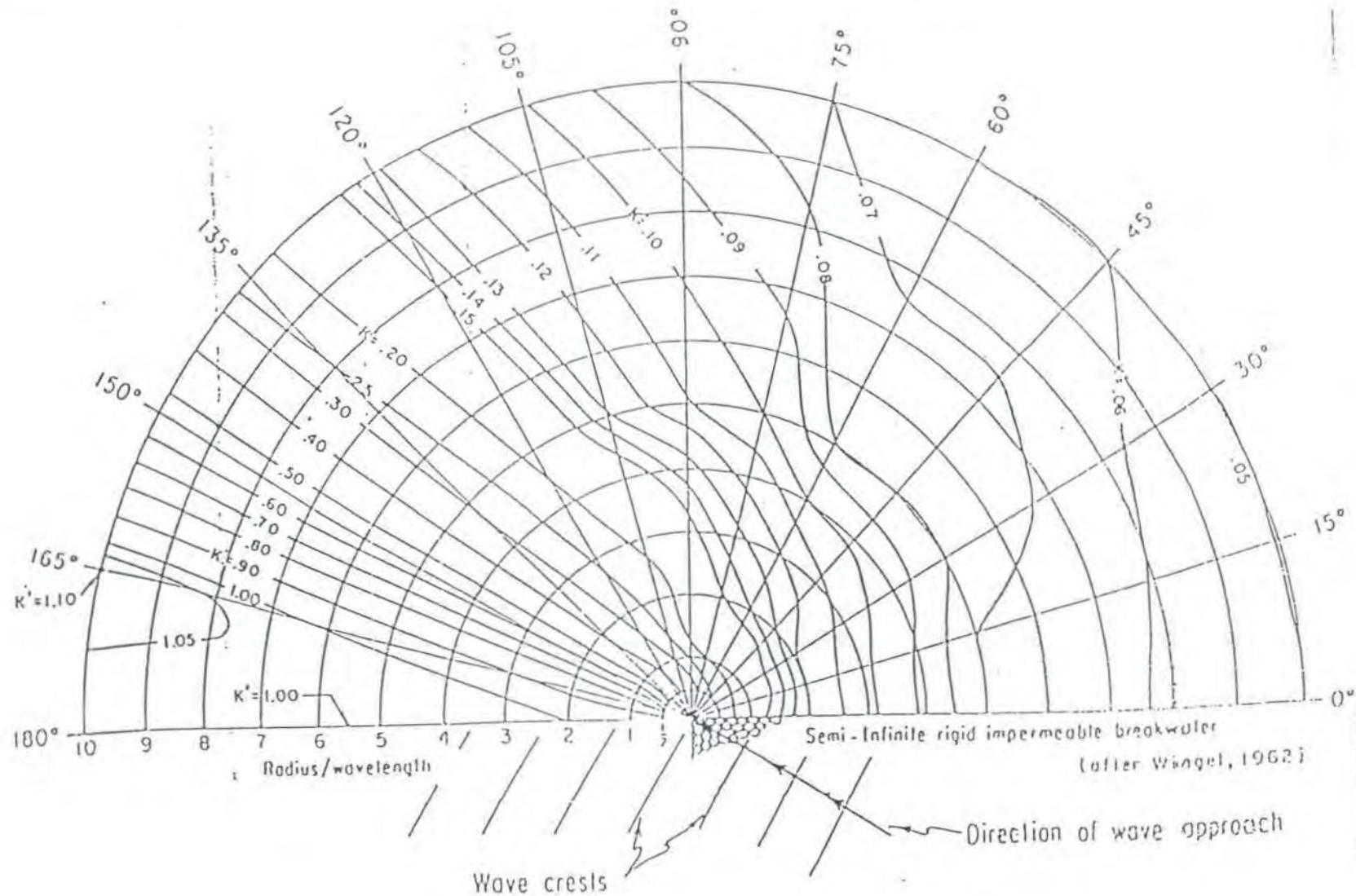


Figure 2-37. Wave diffraction diagram--150° wave angle.

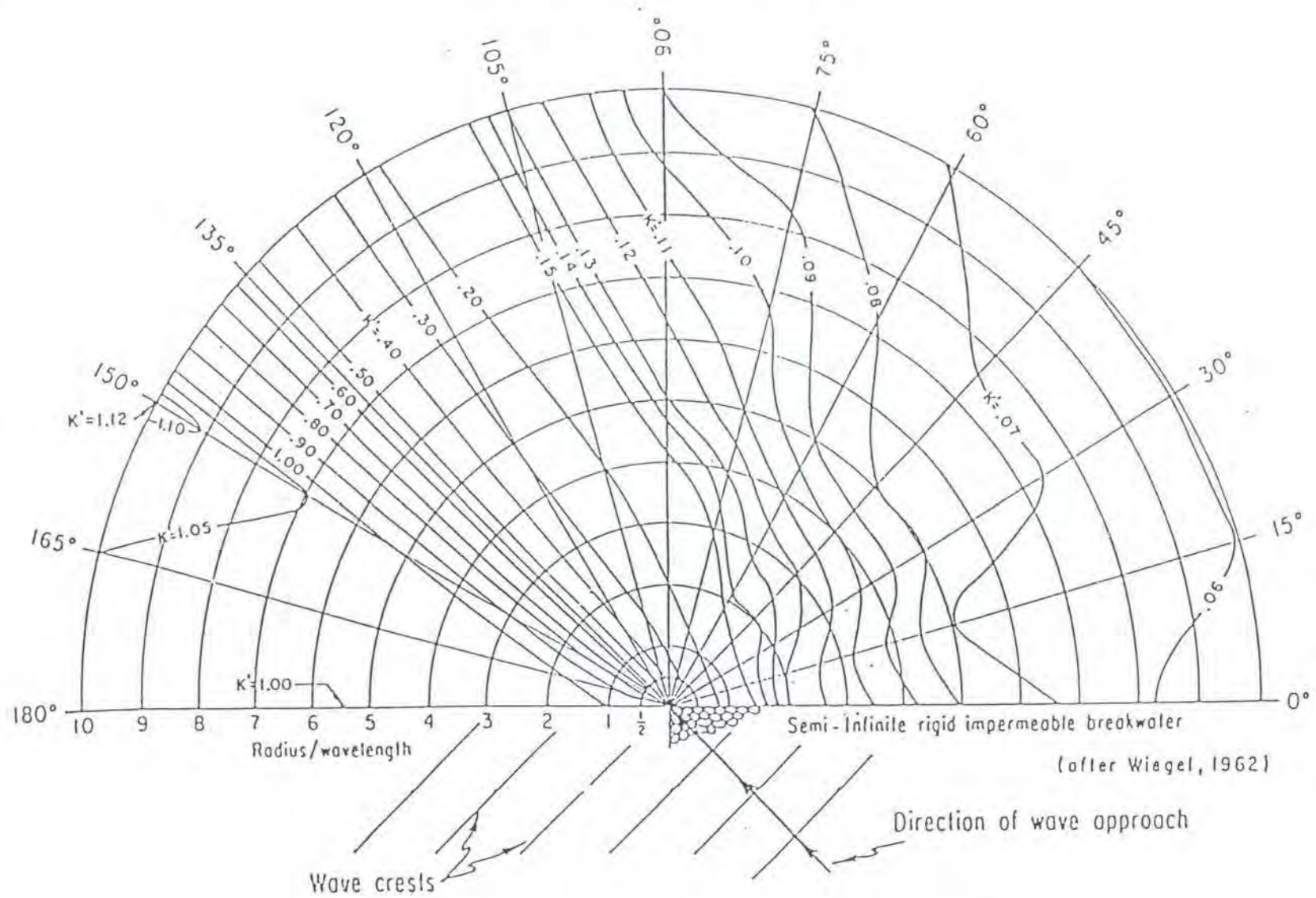


Figure 2-36. Wave diffraction diagram--135° wave angle.

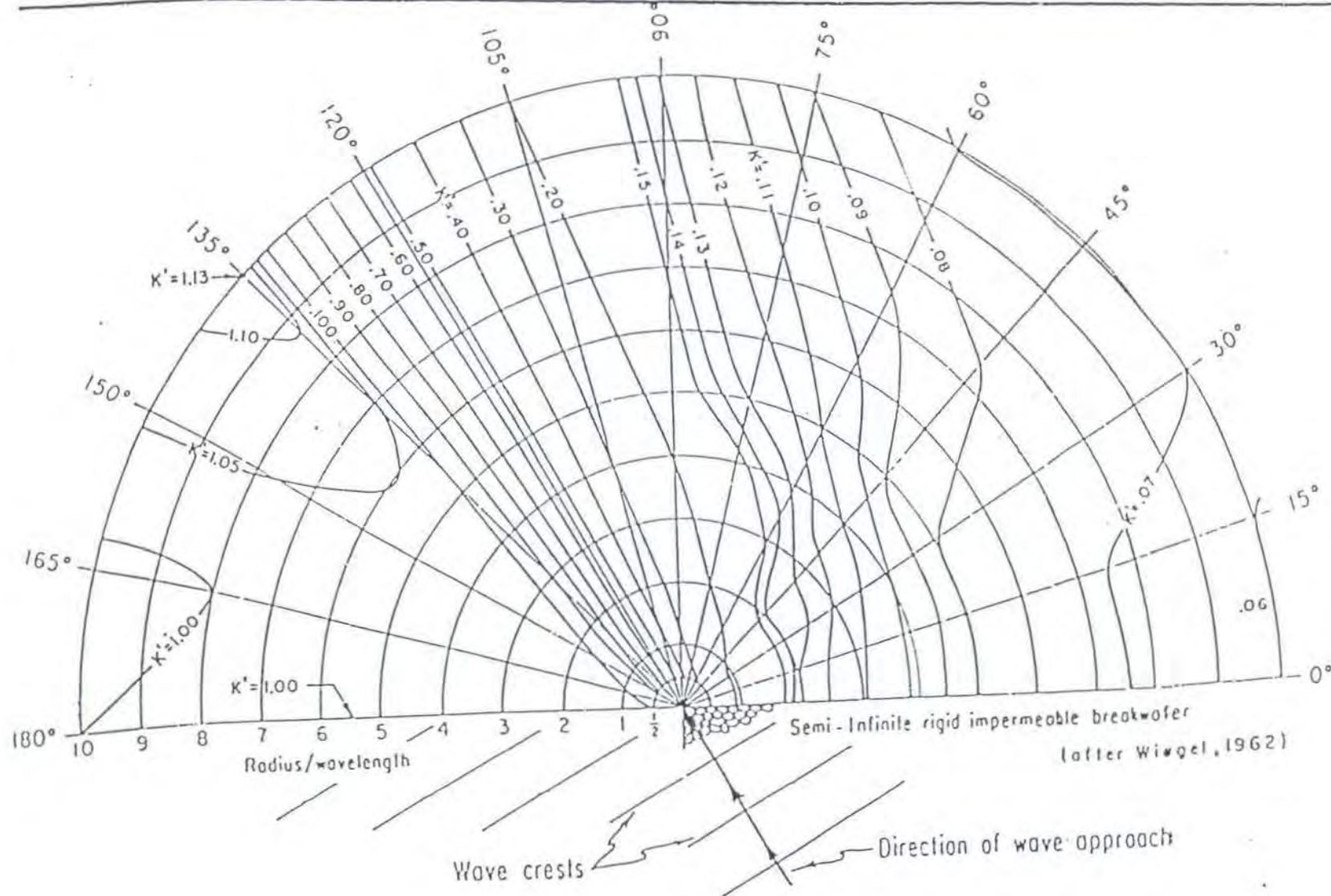


Figure 2-35. Wave diffraction diagram--120° wave angle.

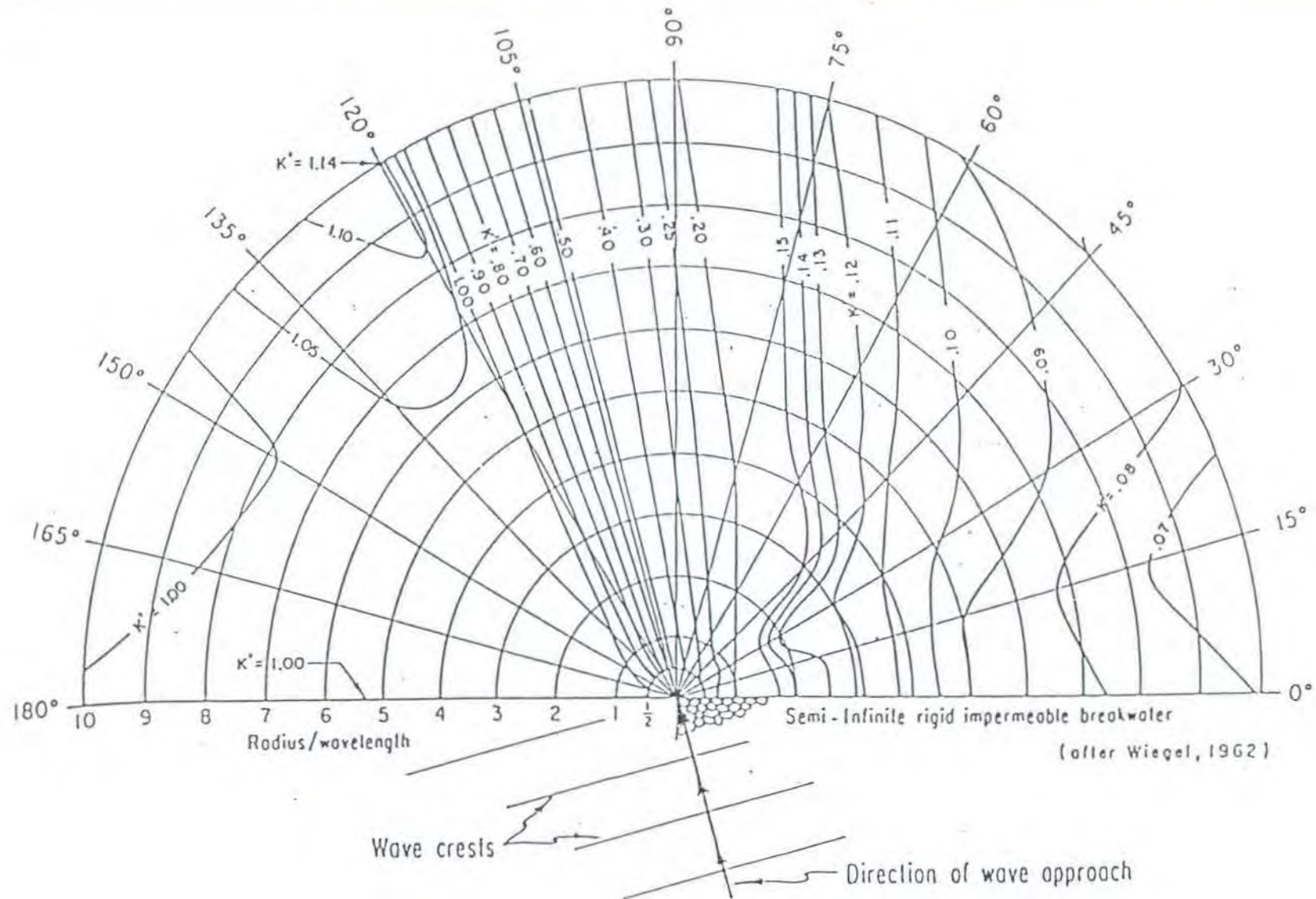


Figure 2-34. Wave diffraction diagram--105° wave angle.

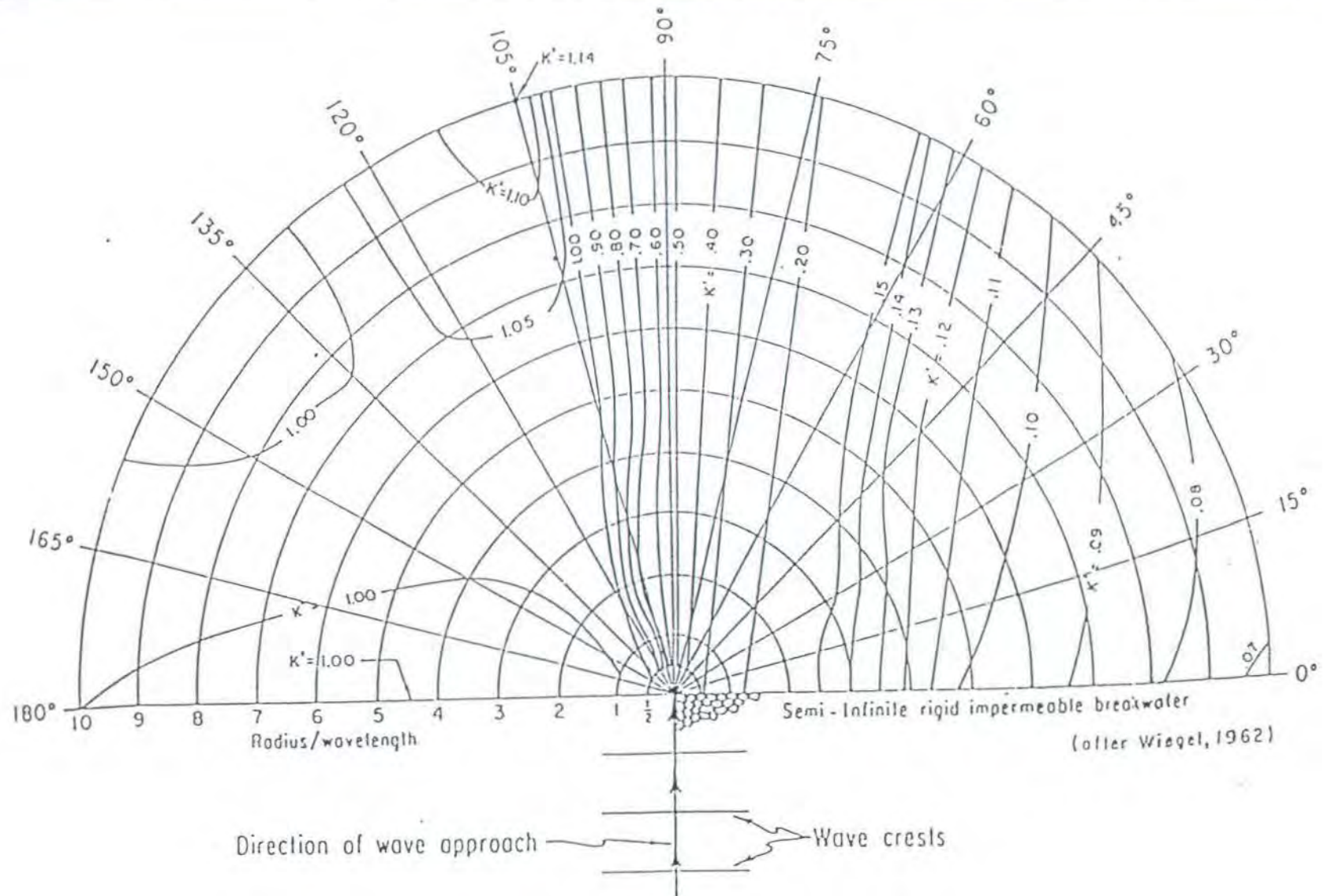


Figure 2-33. Wave diffraction diagram--90° wave angle.

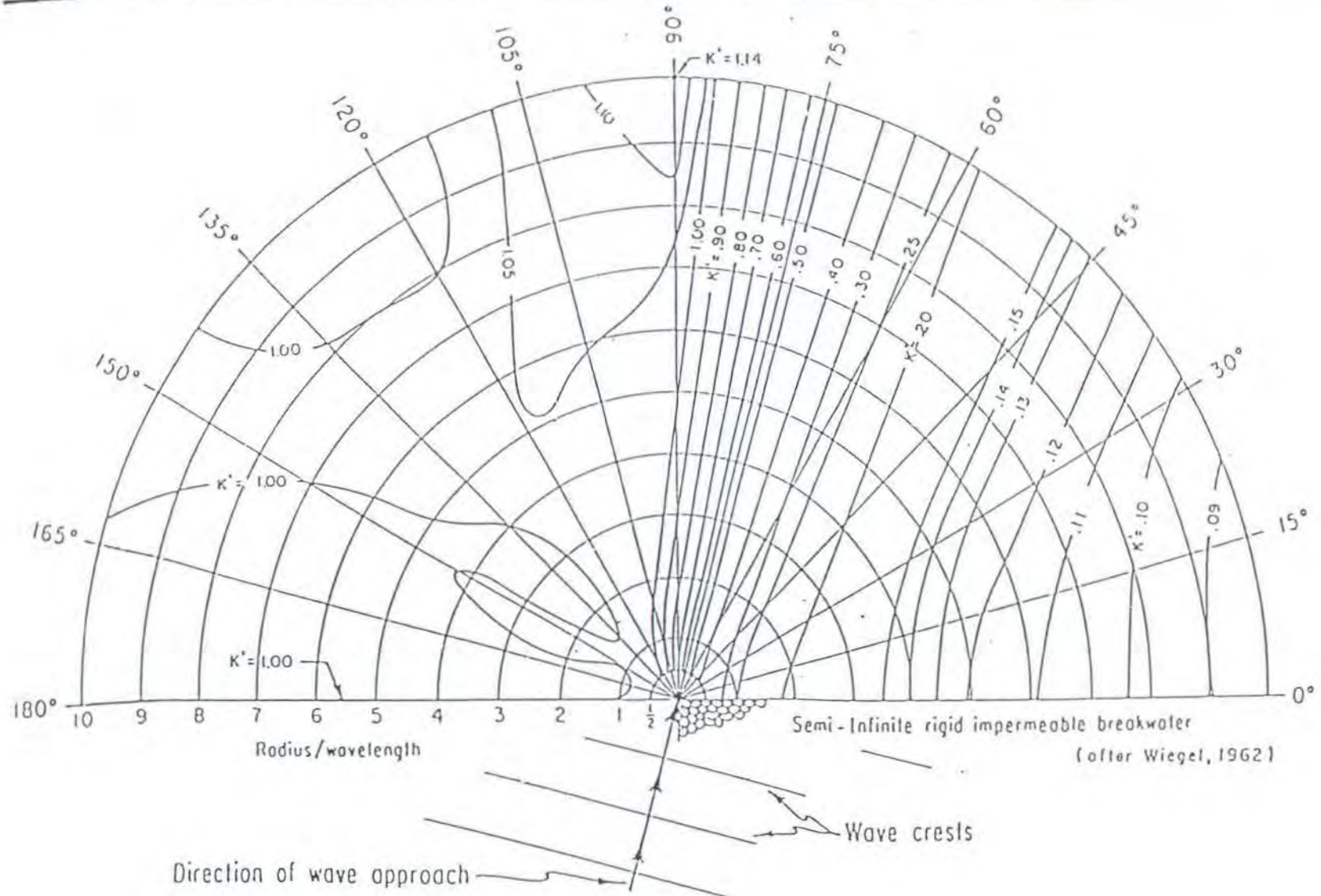


Figure 2-32. Wave diffraction diagram--75° wave angle.

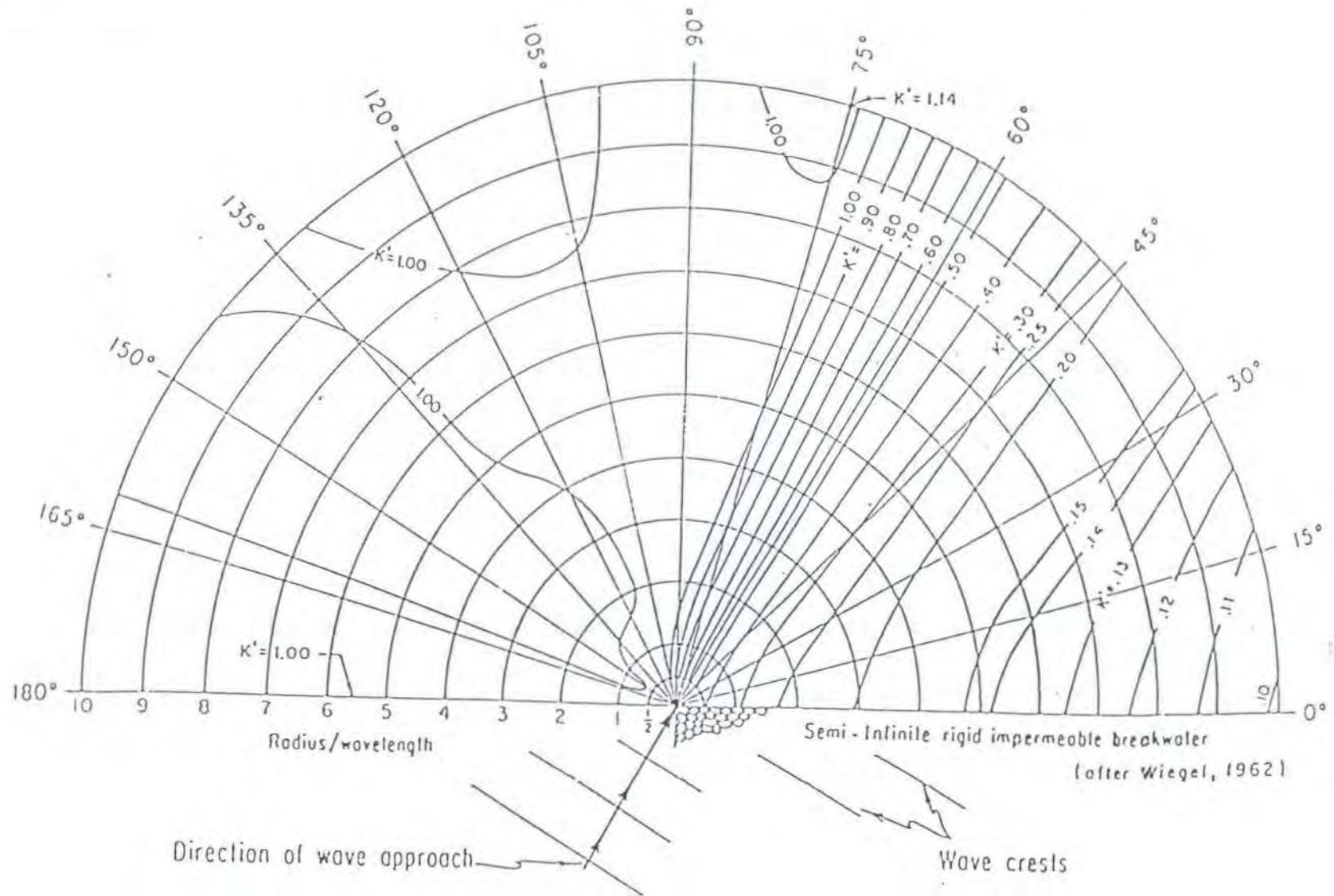


Figure 2-31. Wave diffraction diagram--60° wave angle.

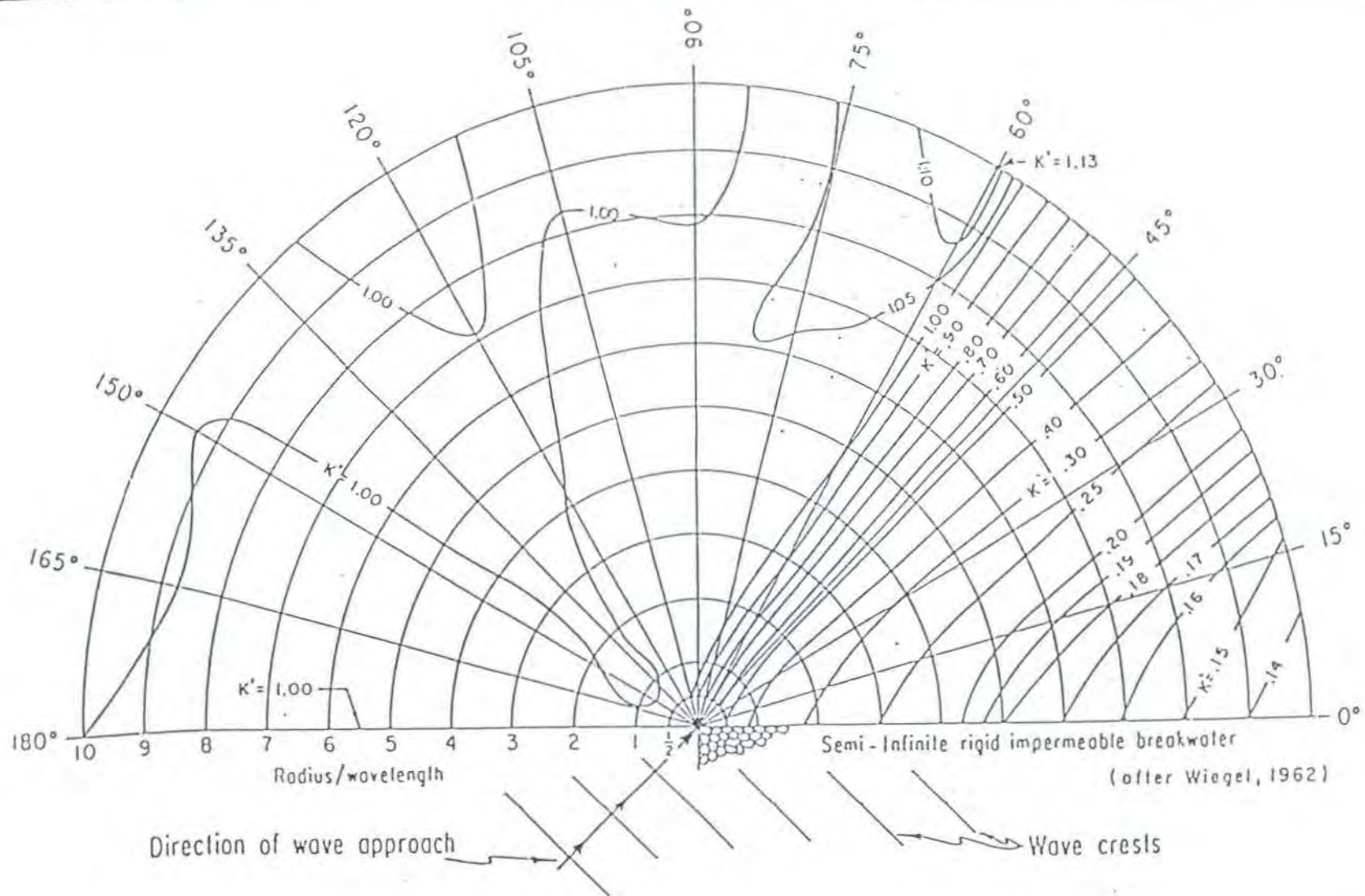


Figure 2-30. Wave diffraction diagram--45° wave angle.

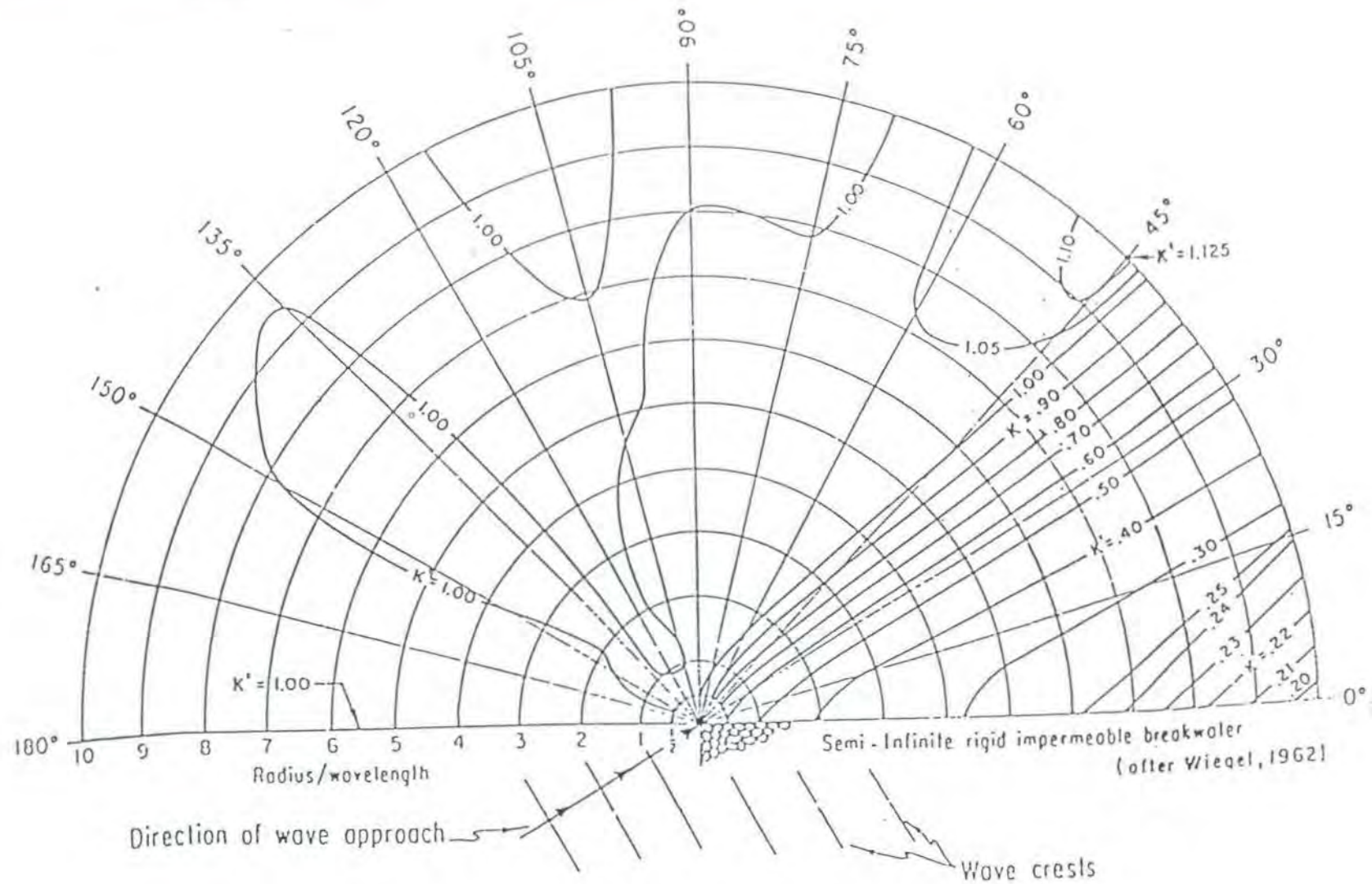


Figure 2-29. Wave diffraction diagram--30° wave angle.

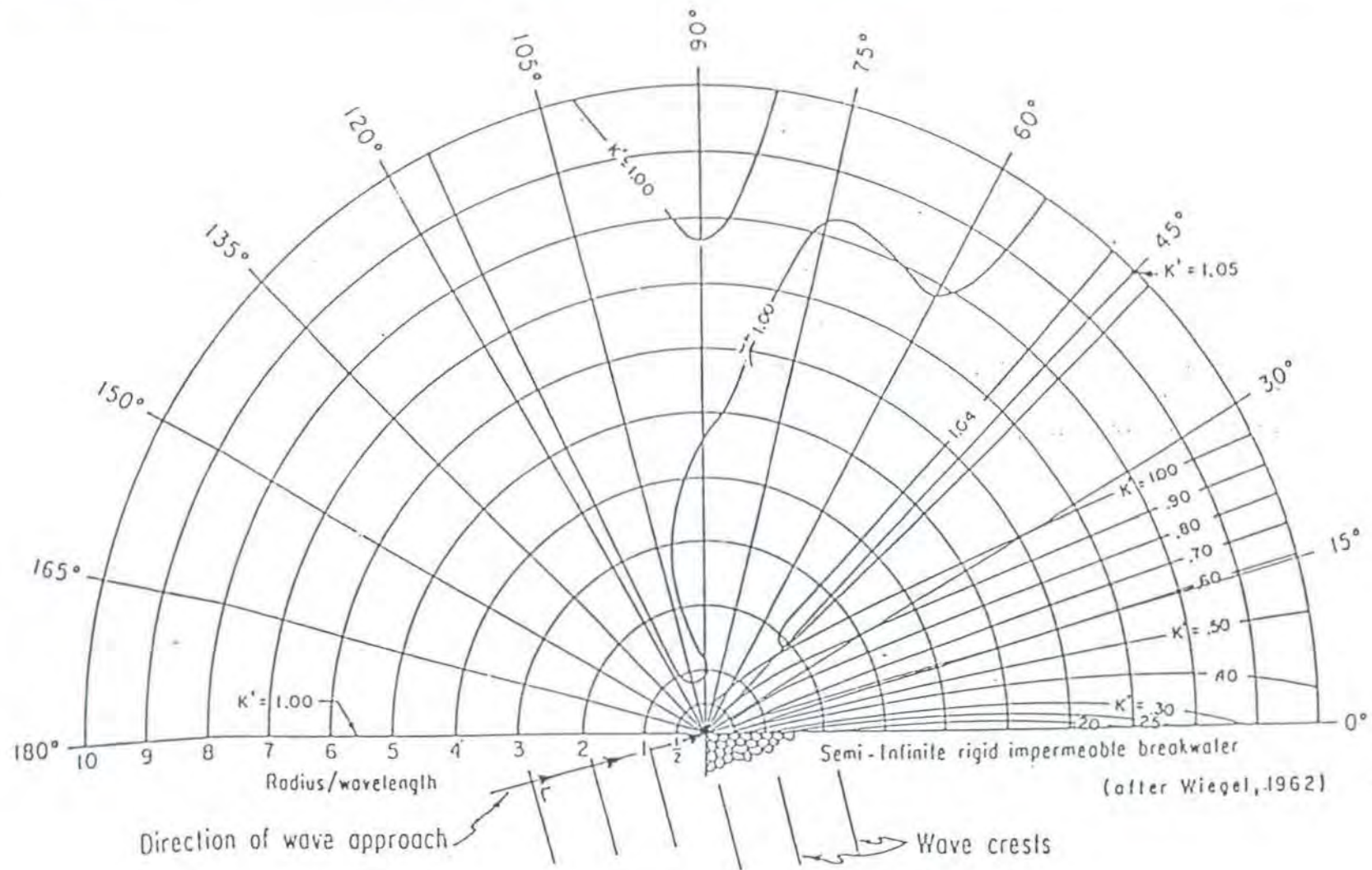
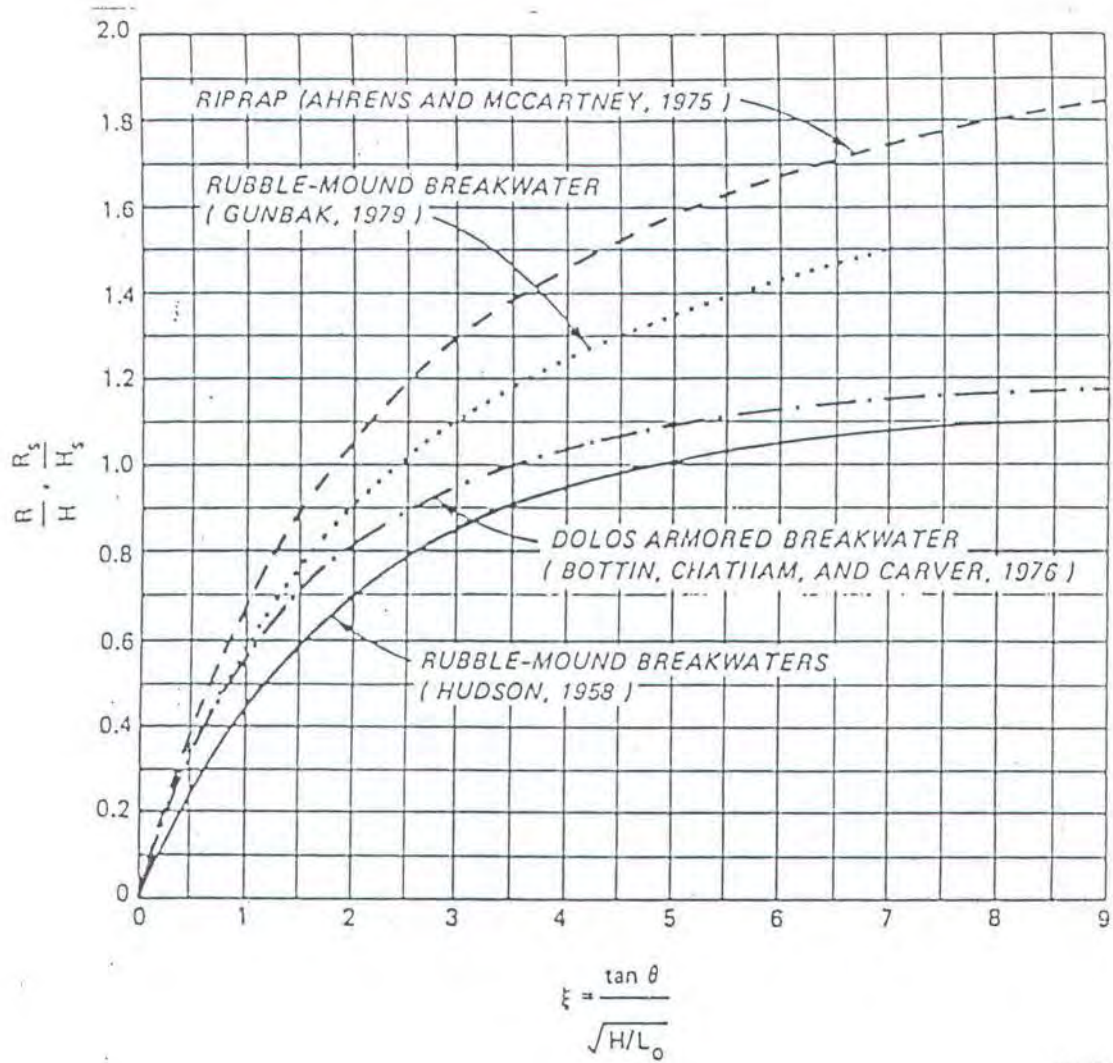


Figure 2-28. Wave diffraction diagram--15° wave angle.

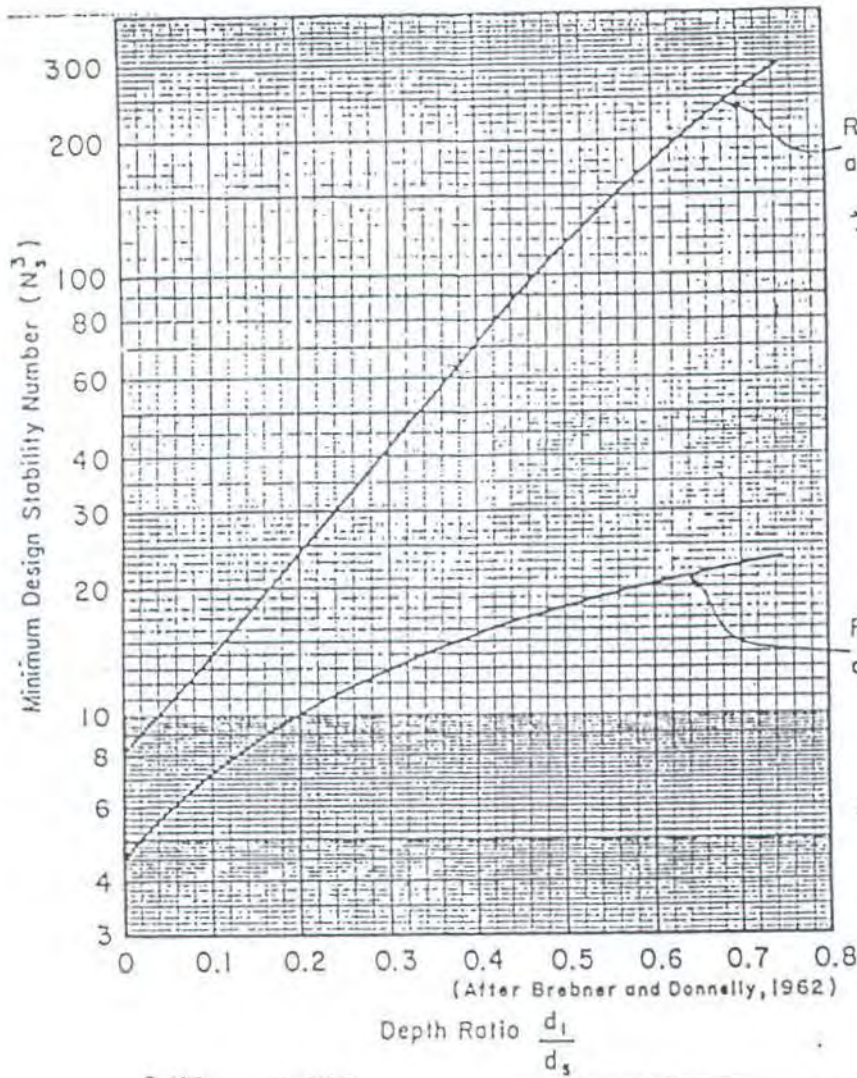
LAMPIRAN C

Grafik Perhitungan Run-Up

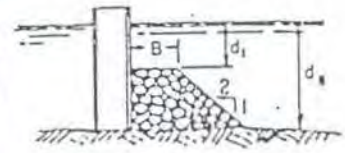


LAMPIRAN D

Perhitungan Berat Batu Kaki Pelindung



Rubble
as Toe Protection

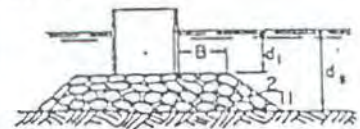


Rubble Toe Protection

$$W = \frac{W_r H^3}{N_s (S_r - 1)^3}$$

$$\text{and } B = 0.4 d_s$$

Rubble
as Foundation



Rubble Foundation

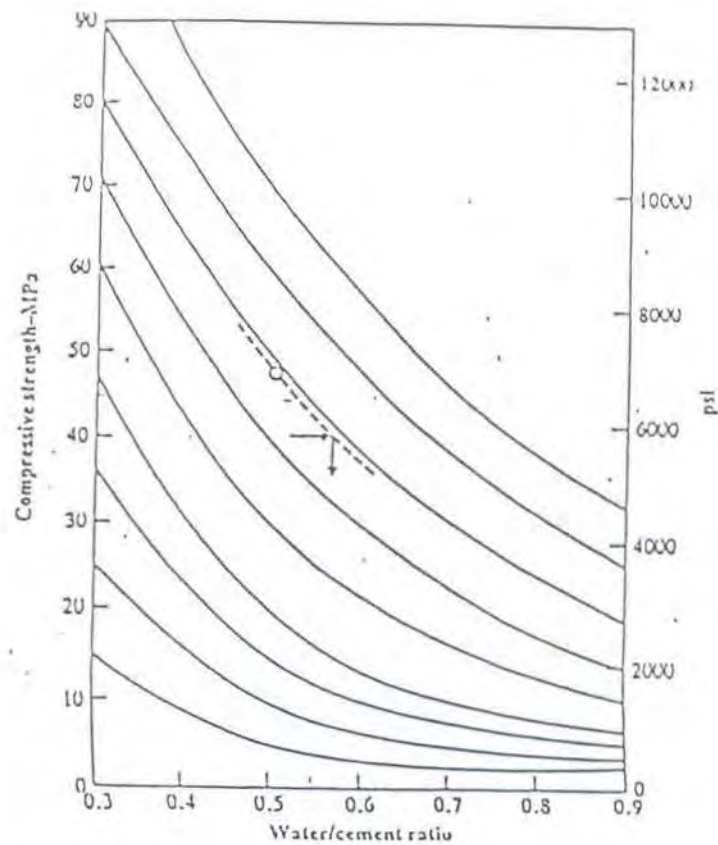
LAMPIRAN E

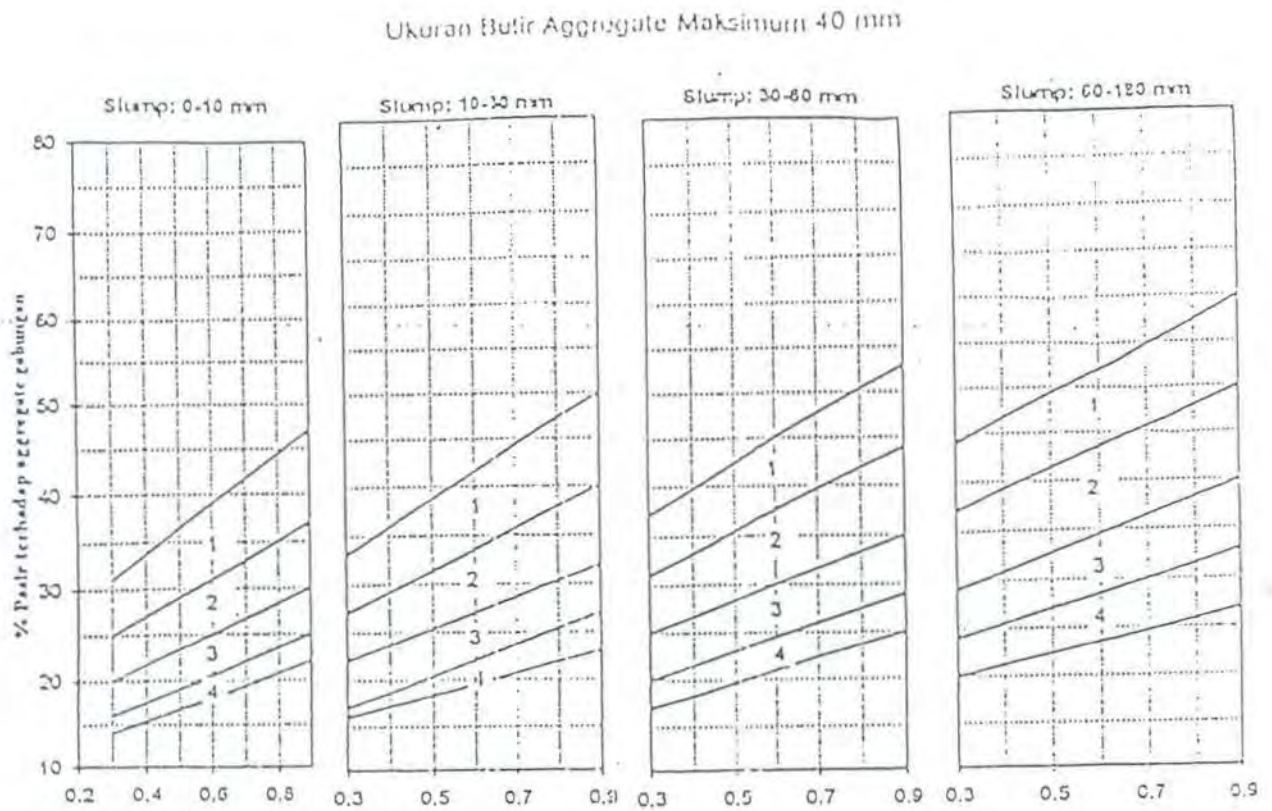
PCAB Dengan Metode DoE

Tabel 1. Perkiraan Kekuatan Tekan Dan Jenis Semen Serta agregat Kasar

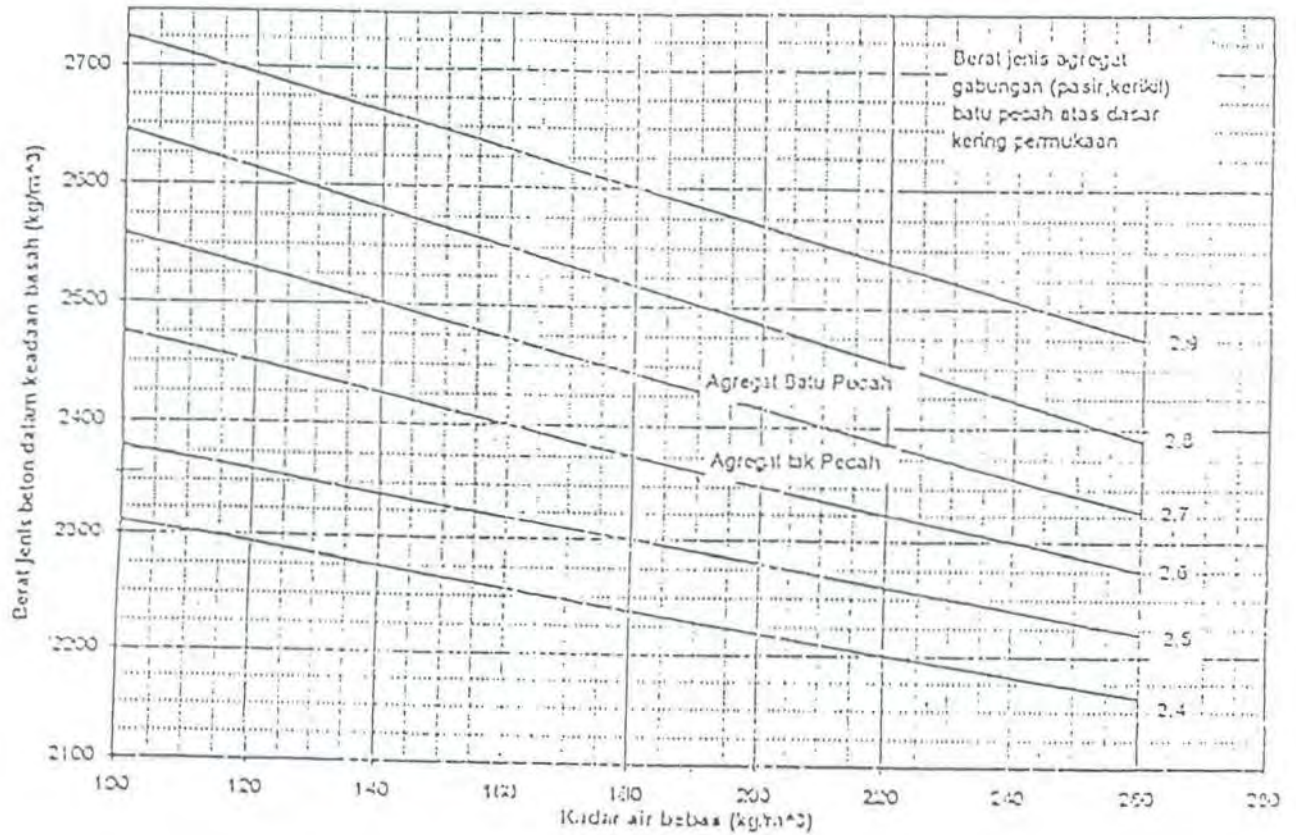
Jenis semen	Jenis agregat	Kekuatan tekan (N/mm ²) pada umur (hari)			
		3	7	28	91
Semen portland (tipe I)	Alami (koral)	20	28	40	48
	Batu pecah	23	32	45	54
Semen portland (tipe II)	Alami (koral)	13	18	32	40
	Batu pecah	11	26	36	44

Gambar 1. Hubungan W/C Dengan Kekuatan Tekan





Gambar 2. Hubungan Slump Dengan Faktor Air Semen



Gambar 3. Perkiraan Berat Jenis Beton Basah

LAMPIRAN F

PCAB Dengan Metode ACI

Jenis konstruksi	Slump (in.) ^a	
	Maksimum ^b	Minimum ^c
Dinding penahan dan fondasi	3	1
Fondasi sederhana, sumuran, dan dinding substruktur	3	1
Balok dan dinding beton	4	1
Kolom struktural	4	1
Perkerasan dan slab	3	1
Beton massal	2	1

Tabel 1. Nilai Slump Yang Disarankan (Nawy, 1990)

Slump (in.)	Air (lb/yd ³) beton untuk ukuran agregat nominal maksimum yang dimaksud)							
	3/8 in. ^a	1/2 in. ^a	3/4 in. ^a	1 in. ^a	1,5 in. ^a	2 in. ^{a,b}	3 in. ^{b,c}	6 in. ^{b,c}
Beton non-air-entrained								
1 s/d 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 s/d 3	385	365	340	325	300	285	245	210
6 s/d 7	410	385	360	340	315	300	270	—
Mendekati jumlah udara yang terkandung dalam beton non-air-entrained (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton air-entrained								
1 s/d 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 s/d 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 s/d 7	365	345	325	310	290	280	260	—
Kandungan udara total rata-rata yang disetujui ^d (persen untuk tingkat ekspos)								
Diekspos sedikit	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5 ^{e,f}	1,0 ^{e,f}
Diekspos menengah	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5 ^{e,f}	3,0 ^{e,f}
Sangat diekspos	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5 ^{e,f}	4,0 ^{e,f}

Tabel 2. Perkiraan Air Campuran Dan Kandungan Udara Untuk Berbagai Nilai Slump (Nawy, 1990)

Kekuatan tekan pada 28 hari ^a (psi) ^b	Faktor air-semen (berat)	
	beton Non air-entrained	Beton Air-entrained
6000	0,41	0
5000	0,48	0,40
4000	0,57	0,48
3000	0,68	0,59
2000	0,82	0,74

Tabel 3. Hubungan Antara Faktor Air-Semen Dengan Kekuatan Tekan Beton (Nawy,1990)

Ukuran agregat maksimum (in.) ^a	Volume agregat kasar kering ^b per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan pasir			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	0,66	0,64	0,62	0,60
1	0,71	0,69	0,67	0,65
1,5	0,75	0,73	0,71	0,69
2	0,78	0,76	0,74	0,72
3	0,82	0,80	0,78	0,76
6	0,87	0,85	0,83	0,81

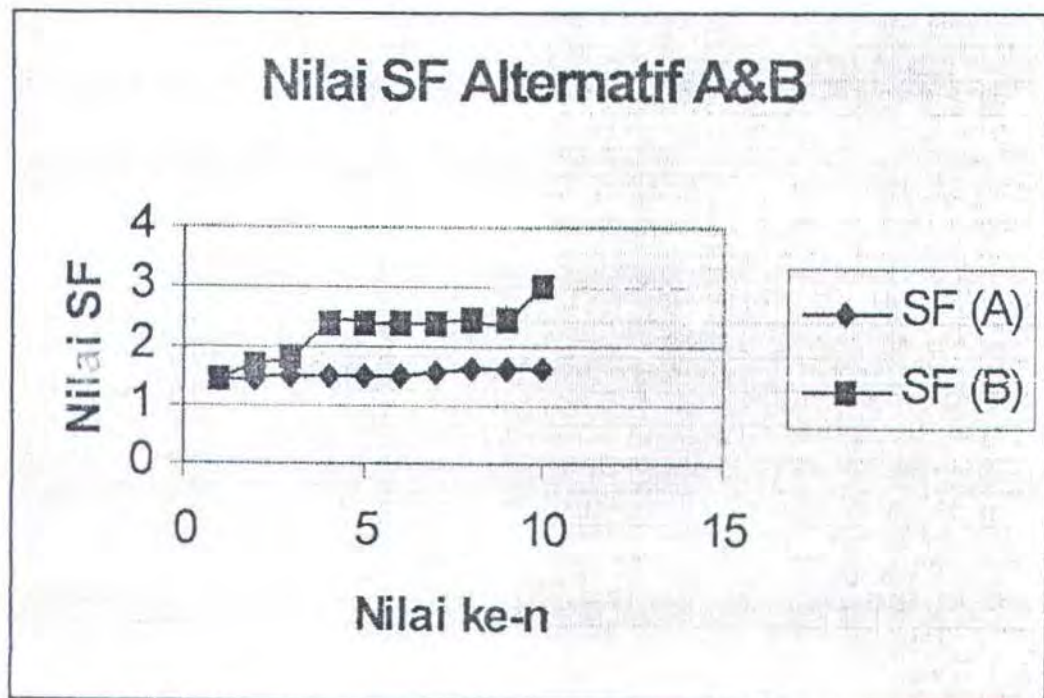
Tabel 4. Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton (Nawy, 1990)

Ukuran maksimum agregat (in.) ^a	Estimasi awal beton segar ^b (lb/yd ³) ^c	
	Beton non-air-entrained	Beton air-entrained
3/8	3840	3690
1/2	3890	3760
3/4	3960	3840
1	4010	3900
1,5	4070	3960
2	4120	4000
3	4160	4040
6	4230	4120

Tabel 5. Estimasi Awal Beton Segar (Nawy, 1990)

LAMPIRAN G

Grafik Stabilitas Breakwater





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251 - 5 Psw. 1104 - 1107 Fax 5936852

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : I Gege Anei Ripayanya
NOMOR POKOK : 4395.100.026
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Hasan Ikhwani, Msc
Kriyo Sambodho S.T
TUGAS DIMULAI : 5 September 1999
DISELESAIKAN : 5 Februari 2000
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Perencanaan Breakwater Sebagai
Bangunan Pelindung Pantai Selatan
BALI

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMB.
1	4/nov/1999	Asistensi BAB I	
2	18/Nov/1999	REVISI BAB I Asistensi BAB II	
3	26/Jan/2000	Asistensi BAB III & BAB IV Perbaikan BAB II	
4	28/Jan/2000	Metode Perhitungan	
5	31/Jan/2000	Panjang breakwater efektif.	
6	2/feb/2000	Pemilihan IRP	
7	4/feb/2000	Pertimbangan Pemilihan konstruksi	
8	8/feb/2000	Konsultasi BAB II, IV, Perbaikan	
9			

CATATAN : LEMBAR PRESENSLIN HARUS DITUNJUKKAN PADA SAAT UJIAN
TUGAS AKHIR